

Universidade de Lisboa

Instituto de Geografia e Ordenamento do Território



Etapas e Metodologias de Produção de Ortofotomapas Digitais

João de Jesus Gomes Martins Lourenço

Relatório de Estágio orientado pelo Prof. Doutor Jorge Rocha

Mestrado em Sistemas de Informação Geográfica e
Modelação Territorial Aplicados ao Ordenamento

2017

Universidade de Lisboa

Instituto de Geografia e Ordenamento do Território



Etapas e Metodologias de Produção de Ortofotomapas Digitais

João de Jesus Gomes Martins Lourenço

Relatório de Estágio orientado pelo Prof. Doutor Jorge Rocha

Júri:

Presidente: Professor Doutor Eusébio Joaquim Marques dos Reis do Instituto de Geografia e Ordenamento do Território da Universidade de Lisboa;

Vogais:

- Professor Doutor Rui Pedro de Sousa Pereira Monteiro Julião da Faculdade de Ciências Sociais e Humanas da Universidade Nova de Lisboa
- Doutor Sérgio Manuel Cruz de Oliveira do Instituto de Geografia e Ordenamento do Território da Universidade de Lisboa
- Professor Doutor Fernando Jorge Pedro da Silva Pinto da Rocha do Instituto de Geografia e Ordenamento do Território da Universidade de Lisboa

2017

Resumo

A produção de ortofotomapas insere diversas etapas que ocorrem tanto no exterior, voo fotogramétrico e trabalhos de campo, como em gabinete, processos computacionais.

O principal objectivo proposto para o estágio de âmbito curricular consistiu em sedimentar os meus conhecimentos adquiridos ao longo destas quase três décadas de trabalho na área da fotogrametria e detecção remota, nomeadamente na produção de ortofotomapas.

Para tal, foram realizados um conjunto de trabalhos de campo e de gabinete durante o período de estágio. O território em que foi desenvolvido o projecto de estudo foi a área da Marina de Albufeira.

O estágio decorreu em ambiente empresarial na sede da empresa Estereofoto-Geoengenharia S.A., no departamento de detecção remota. Realizaram-se as diversas etapas necessárias para a produção dos ortofotomapas: o planeamento e voo fotogramétrico realizado sobre o concelho de Albufeira, utilizando a câmara fotogramétrica *DMC01-0129 (Digital Mapping Camara)*; a conversão e manipulação inicial das propriedades da fotografia executada com recurso à aplicação *Leica Geosystems Calibration Post Processing*; a recolha de pontos de apoio, obtidos no sistema de coordenadas *Hayford-Gauss, Datum 73*, usando o sistema RTK, apoiado na Rede Geodésica Nacional (RGN) da DGT; a aerotriangulação foi realizada na aplicação *Image Station Automatic Triangulation (ISAT)* da Intergraph; A geração do MDT foi inicialmente obtida por processo automático com recurso à aplicação *Image Station Automatic Elevation (ISAE)* da Intergraph, como esta não traduzi resultados aceitáveis optou-se pelo uso de uma malha de pontos de cota, complementada por linhas de ruptura do terreno, Linhas de água, linhas de cumeada, limites de rede viária e ferroviária, em suma, todos os elementos de terreno existentes na cartografia vectorial. O último processo foi a produção e edição de ortofotomapas, feita com recurso ao módulo *OrthoPro* do *GeoMedia Professional*.

No decorrer das diversas fases de produção de ortofotomapas, foram encontradas algumas anomalias decorrentes de alguns procedimentos, nomeadamente na edição

do MDT, na criação de *seamlines* de forma automática e em diferenças radiométricas muito notórias entre as várias fotografias aéreas. Foram executadas operações localizadas de forma a corrigir as mesmas e procedeu-se a nova produção dos ortofotomapas. Concluído este processo e com vista a obter um produto com elevada consistência radiométrica recorreu-se ao editor de imagem *Adobe Photoshop*.

Palavras-chave: Sistemas de Informação Geográfica (SIG), Detecção Remota, Fotografia Aérea, Fotogrametria, Ortofotomapa.

Abstract

The production of orthophotomaps introduces various steps that occur both on outdoors fieldwork (photogrammetric flight) and in office (computational processes). The main goal for this curricular framework stage consisted of improve my knowledge gained throughout these nearly three decades of work in the field of Photogrammetry and remote sensing, in particular in the production of orthophotomaps. To this end, a set of field and office work was held during the internship period. The territory in which study takes place was the urban area in the municipality of Albufeira. The training course took place in business environment at the company's headquarters Estereofoto-Geoengineering S.A. remote sensing Department. There are various steps required for the production of orthophotomaps: i) planning and photogrammetric flight conducted on the municipality of Albufeira, using the photogrammetric camera DMC01-0129 (Digital Mapping Camera); ii) conversion and initial handling of the properties of the photo runs using the Leica Geosystems Calibration application Post Processing; iii) collection of points, obtained in the coordinate system Hayford Gauss Datum 73, using the RTK system, supported the National Geodetic Network (NGN); iv) the aerotriangulation was held in the application Image Station Automatic Triangulation (ISAT) of Intergraph; v) the generation of DTM was first obtained by automatic process using the application Image Station Automatic Elevation (ISAE) of Intergraph, as this does not give acceptable results we opted to use a mesh of quota points, complemented by ground rupture lines, water lines, ridge lines, road and rail network limits, in short all the existing terrain elements in vector cartography. The last case was the production and editing of orthophotomaps, made with use of GeoMedia Professional OrthoPro module.

During the various stages of production of orthophotomaps, were found some anomalies arising out of some procedures, in particular in the DTM, in creating seamlines automatically and in radiometric differences very well received among the various aerial photographs. Have been implemented localized operations in order to fix the same and proceeded to the new production of orthophotomaps. Completed

this process and with a view to obtaining a product with high consistency was radiometric image editor Adobe Photoshop.

Keywords: geographic information systems (GIS), remote sensing, aerial photography, Photogrammetry, Orthophotomap.

Agradecimentos

A presente dissertação não poderia ter sido realizada sem a ajuda e disponibilidade por parte de um conjunto de pessoas, às quais gostaria de deixar aqui os meus sinceros agradecimentos.

Expresso o meu reconhecimento pela prestimosa orientação e apoio ao Sr. Professor Doutor Fernando Jorge Rocha, pela sua amizade e permanente disponibilidade para esclarecimento de dúvidas e clarificação de conceitos.

Um especial agradecimento a toda a comunidade do IGOT, pelo papel preponderante que tiveram na minha formação académica e gosto que desenvolvi pelo estudo do território e suas dinâmicas.

A execução deste trabalho só foi possível com a total disponibilidade da Esterofoto-Geoengenharia, SA, que é também a minha entidade empregadora desde o ano 2000, por me ter dado a oportunidade de aí estagiar, possibilitando-me o aprofundar dos conhecimentos na área da detecção remota. Em especial agradeço ao Sr. Álvaro Pombo e aos engenheiros Carlos Fonte e Sérgio Rodrigues, assim como aos restantes colegas pelo apoio e incentivo há minha evolução durante todo este percurso profissional e académico.

À Helena, minha esposa e companheira de longa data, por todo o incentivo e apoio manifestados ao longo destes seis anos de percurso académico, um enorme obrigado, este trabalho também te pertence.

À nossa filha Matilde, obrigado por seres um doce de menina e desculpa pelas minhas ausências durante este percurso.

A toda a minha restante família e amigos agradeço por todo o apoio, carinho e dedicação que sempre manifestaram de forma incondicional ao longo da vida.

Em geral agradeço a todas as pessoas que directa ou indirectamente contribuíram para que este trabalho fosse uma realidade.

Índice Geral

RESUMO	I
ABSTRACT	III
AGRADECIMENTOS	V
ÍNDICE GERAL	VII
ÍNDICE DE FIGURAS	XI
ÍNDICE DE TABELAS	XV
1 INTRODUÇÃO	1
1.1 ENQUADRAMENTO	1
1.2 ENQUADRAMENTO EMPRESARIAL	4
1.3 ESTRUTURA DO RELATÓRIO	6
2 DETECÇÃO REMOTA	9
2.1 CONCEITOS DE DETECÇÃO REMOTA	12
2.2 RESENHA HISTÓRICA	15
3 FOTOGRAMETRIA	21
3.1 INTRODUÇÃO	21
3.2 ESCALA DE VOO	24
3.3 CALIBRAÇÃO GEOMÉTRICA DA CÂMARA	26
3.4 ESCALA DE UM VOO DIGITAL	32
3.5 PLANEAMENTO DE VOO	37
3.6 PONTOS FOTOGRAMÉTRICOS	41
3.7 ESTEREOSCOPIA	44
3.8 PARALAXE	46
4 IMAGEM DIGITAL	49
4.1 INTRODUÇÃO	49
4.2 RESOLUÇÕES DAS IMAGENS FOTOGRAMÉTRICAS DIGITAIS	49
4.3 PROBLEMAS RESULTANTES DA AQUISIÇÃO DE IMAGEM	54
4.3.1 <i>Aberrações geométricas</i>	54
4.3.2 <i>Aberrações cromáticas</i>	54
4.3.3 <i>Distribuição da luz no plano focal</i>	55
4.3.4 <i>Arrastamento da imagem</i>	56
4.3.5 <i>Efeitos atmosféricos</i>	57
4.4 PROCEDIMENTOS DE RESOLUÇÃO DE PROBLEMAS NA IMAGEM	58

4.4.1	<i>O princípio do Algoritmo Adaptativo Local Range Modification (LRM)</i>	58
4.4.2	<i>Adaptações da LRM para o balanceamento de imagens</i>	62
4.4.3	<i>Balanceamento de várias imagens</i>	66
4.4.4	<i>Solução Z/I Imaging</i>	72
5	FOTOGRAMETRIA DIGITAL	75
5.1	INTRODUÇÃO	75
5.2	TRIANGULAÇÃO AÉREA.....	76
5.3	AEROTRIANGULAÇÃO	78
5.4	TRIANGULAÇÃO AÉREA COM APOIO GPS	81
5.5	TRIANGULAÇÃO AÉREA AUTOMÁTICA	82
5.6	RESTITUIÇÃO FOTOGRAMÉTRICA	83
6	MODELO DIGITAL DO TERRENO	87
6.1	INTRODUÇÃO	87
6.2	TÉCNICAS FOTOGRAMÉTRICAS <i>VERSUS</i> CORRELAÇÃO AUTOMÁTICA DE IMAGENS <i>VERSUS</i> LiDAR	87
6.3	CUSTOS <i>VERSUS</i> TEMPO DE AQUISIÇÃO DE UM MDT POR FOTOGRAMETRIA OU LASER.	93
7	DA IMAGEM AÉREA AO ORTOFOTO	95
7.1	INTRODUÇÃO	95
7.2	ORTORECTIFICAÇÃO	97
7.3	PRODUÇÃO E EDIÇÃO DE UM ORTOFOTOMAPA	102
8	PROJECTO DE ELABORAÇÃO DE ORTOFOTOMAPAS	105
8.1	INTRODUÇÃO	105
8.2	PÓS -PROCESSAMENTO DO VOO FOTOGRAMÉTRICO	107
8.3	AQUISIÇÃO DO APOIO FOTOGRAMÉTRICO	108
8.4	AEROTRIANGULAÇÃO	109
8.5	AQUISIÇÃO DO MODELO DIGITAL DE TERRENO	119
8.6	GERAÇÃO DOS ORTOFOTOS.....	121
8.6.1	<i>OrthoPro Project</i>	122
8.6.2	<i>Project Planing</i>	123
8.6.3	<i>Rectificação Diferencial</i>	125
8.6.4	<i>Dodging</i>	139
8.6.5	<i>Seamlines</i>	145
8.6.6	<i>Atribuição de polígonos para junção de imagens</i>	151
8.6.7	<i>Junção de imagens (mosaico)</i>	154
9	CONTROLO DA QUALIDADE POSICIONAL E RADIOMÉTRICA	161
9.1	INTRODUÇÃO	161

9.2	CONTROLO QUALIDADE POSICIONAL.....	162
9.3	CONTROLO DE QUALIDADE RADIOMÉTRICA	164
10	CONSIDERAÇÕES FINAIS	169
11	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	173
ANEXO	176
	AERONAVES CIVIS NÃO TRIPULADAS	176

Índice de Figuras

FIGURA 1.1 – SEQUÊNCIA DE PROCESSOS PARA GERAR UM ORTOFOTOMAPA.....	3
FIGURA 1.2 – ÁREA DE ESTUDO.	3
FIGURA 1.3 – PRESENÇA DA ESTEREOFOTO NO MUNDO (FONTE: HTTP://WWW.ESTEREOFOTO.PT).	4
FIGURA 2.1 - O SISTEMA VISUAL HUMANO, TAL COMO UM SISTEMA DE DETECÇÃO REMOTA PASSIVO DEPENDE DE UMA FONTE EXTERIOR DE ILUMINAÇÃO (ADAPTADO DE LILLESAND, KIEFER, 2000).	12
FIGURA 2.2 – REPRESENTAÇÃO DO ESPECTRO VISÍVEL DA LUZ (ADAPTADO DE LILLESAND, KIEFER, 2000).	13
FIGURA 2.3 – EXEMPLOS DE SENSORES DE DETECÇÃO REMOTA.	14
FIGURA 2.4 – PRIMEIRA IMAGEM FOTOGRÁFICA OBTIDA POR JOSEPH NICÉPHORE NIÉPCE EM 1826 (FONTE: HTTPS://WWW.STUDYBLUE.COM/NOTES/NOTE/N/HISTORY-OF-PHOTOGRAPHY).	15
FIGURA 2.5 – BALÃO DE AR QUENTE UTILIZADO POR AIMÉ LAUSSE DAT PARA OBTEN FOTOGRAFIAS AÉREAS.	16
FIGURA 2.6 – POMBOS-CORREIO UTILIZADOS POR NEUBRONNER EM 1903 PARA CAPTAR FOTOGRAFIAS AÉREAS (FONTE: HTTPS://WWW.THEATLANTIC.COM/TECHNOLOGY/ARCHIVE).	17
FIGURA 2.7 - AVIÃO DE RECONHECIMENTO ALEMÃO UTILIZADO DURANTE A I GUERRA MUNDIAL, O RUMPLER TAUBE (FONTE: HTTP://MODELINGMADNESS.COM/REVIEW/W1/GER/BAKERTAUBE.HTM).	17
FIGURA 2.8 - TIROS 1, O PRIMEIRO SATÉLITE METEOROLÓGICO, POSTO EM ÓRBITA EM 1960 (FONTE: HTTPS://WWW.BRITANNICA.COM/TOPIC/TIROS).	19
FIGURA 2.9 - LANDSAT 1, 1º SATÉLITE CARTOGRÁFICO, POSTO EM ÓRBITA EM 1972 (FONTE: HTTPS://LANDSAT.GSFC.NASA.GOV/ABOUT/HISTORY/).	20
FIGURA 3.1 - VISTA A DUAS DIMENSÕES DE UMA FOTOGRAFIA VERTICAL DE UM TERRENO PLANO (ADAPTADO DE WOLF, 1983).	25
FIGURA 3.2 - VISTA A DUAS DIMENSÕES DE UMA FOTOGRAFIA VERTICAL DE UM TERRENO ACIDENTADO (ADAPTADO DE WOLF, 1983).	26
FIGURA 3.3 - SISTEMA DE COORDENADAS IMAGEM E SISTEMA DE COORDENADAS FOTO (FONTE: HTTP://LEICA-GEOSYSTEMS.COM/PRODUCTS/AIRBORNE-SYSTEMS/IMAGING-SENSORS).	27
FIGURA 3.4 - CÂMARA AÉREA MATRICIAL DE GRANDE FORMATO DMC01-0129 (FONTE: HTTP://LEICA-GEOSYSTEMS.COM/PRODUCTS/AIRBORNE-SYSTEMS/IMAGING-SENSORS).	29
FIGURA 3.5 – QUATRO CÂMARAS CENTRAIS DA DMC01-0129 (FONTE: HTTP://LEICA-GEOSYSTEMS.COM/PRODUCTS/AIRBORNE-SYSTEMS/IMAGING-SENSORS).	30
FIGURA 3.6 – IMAGEM COM DIFERENTES VALORES DE GSD.	33
FIGURA 3.7 - CALCULO GSD (ADAPTADO DE HTTP://LEICA-GEOSYSTEMS.COM/PRODUCTS/AIRBORNE-SYSTEMS/IMAGING-SENSORS).	35
FIGURA 3.8 - COMPARAÇÃO DE DIFERENTES ESCALAS DE FOTO (ADAPTADO DE HTTP://LEICA-GEOSYSTEMS.COM/PRODUCTS/AIRBORNE-SYSTEMS/IMAGING-SENSORS).	36
FIGURA 3.9 – DIVERSAS CLASSIFICAÇÕES DE FOTOGRAFIA AÉREA.	37
FIGURA 3.10 - SOBREPOSIÇÃO LONGITUDINAL E SOBREPOSIÇÃO LATERAL (ADAPTADO DE LILLESAND, KIEFER, 2000).	38
FIGURA 3.11 - MODELO DE PLANO DE VOO (ADAPTADO DE LILLESAND, KIEFER, 2000).	39
FIGURA 3.12 - TRAÇADO DE VOO PARA UMA FAIXA ESTREITA DE TERRENO.	40

FIGURA 3.13 – FICHA TÉCNICA DE UM PONTO FOTOGRAMÉTRICO	42
FIGURA 3.14 - EXEMPLIFICAÇÃO DE DOIS PARES ESTEREOSCÓPICO (ADAPTADO DE LILLESAND, KIEFER, 2000).	45
FIGURA 3.15 – ILUSTRAÇÃO DE UM PAR ESTEREOSCÓPIO (A) E ILUSTRAÇÃO DE UM ESTEREOSCÓPIO (B) (ADAPTADO DE LILLESAND, KIEFER, 2000).	45
FIGURA 3.16 – REPRESENTAÇÃO DE PARALAXE ESTEREOSCÓPICA (ADAPTADO DE LILLESAND, KIEFER, 2000).....	46
FIGURA 3.17 - DESFASAMENTO DEVIDO À PARALAXE EM FOTOGRAFIAS VERTICAIS (ADAPTADO DE LILLESAND, KIEFER, 2000)	47
FIGURA 4.1 – REPRESENTAÇÃO DO NÚMERO DIGITAL	49
FIGURA 4.2 – APLICABILIDADE DOS VÁRIOS SATÉLITES EM FUNÇÃO DAS RESOLUÇÕES TEMPORAL E ESPACIAL (ADAPTADO DE JENSEN, 2007).	53
FIGURA 4.3 - PRINCÍPIO DO ESCURECIMENTO DOS CANTOS DA IMAGEM (ADAPTADO DE LILLESAND KIEFER, 2000).....	55
FIGURA 4.4 - EXEMPLO DE IMAGEM ESCURECIDA NOS CANTOS.	56
FIGURA 4.5 - ARRASTAMENTO DA IMAGEM.....	57
FIGURA 4.6 – SOMBRAS (A), <i>HOT SPOT</i> (B) E NEVOA ATMOSFÉRICA (C).....	58
FIGURA 4.7 - PADRÕES DISTINTOS DE HISTOGRAMA DE UMA FOTOGRAFIA AÉREA DIGITAL (ADAPTADO DE Z/I IMAGING CORPORATION, 2009).	60
FIGURA 4.8 - BLOCOS E PARÂMETROS UTILIZADOS NA LRM. FONTE: SCHOWENGERDT (1997).	61
FIGURA 4.9 - EXEMPLO ILUSTRATIVO DA TÉCNICA LRM, UTILIZADA NAS APLICAÇÕES DODGE (ADAPTADO DE Z/I IMAGING CORPORATION, 2009).	63
FIGURA 4.10 - DECOMPOSIÇÃO DE UMA FOTOGRAFIA AÉREA DE 24 BITS EM CANAIS RGB (ADAPTADO DE Z/I IMAGING CORPORATION, 2009).	64
FIGURA 4.11 - ANÁLISE COMPARATIVA DE UMA ÁREA RURAL CONTENDO UM ENORME PLANO DE ÁGUA. ESQUERDA: IMAGEM ORIGINAL, DIREITA: IMAGEM BALANCEADA.	65
FIGURA 4.12 - DIVISÃO ESQUEMÁTICA DAS FOTOGRAFIAS AÉREAS EM BLOCOS E RESPECTIVOS VALORES DE BRILHO E CONTRASTE EXTRAÍDOS DOS CANAIS RGB (MÉDIA E DESVIO PADRÃO).....	67
FIGURA 4.13 - FOTO-ÍNDICE DE FOTOGRAFIAS AÉREAS, ACIMA: IMAGENS ORIGINAIS, ABAIXO: IMAGENS COM BALANCEAMENTO EM CONJUNTO.	69
FIGURA 4.14 - MOSAICO DE FOTOGRAFIAS AÉREAS ANTES E APÓS O BALANCEAMENTO DAS CORES.	71
FIGURA 5.1 - ESQUEMA DE OPERAÇÕES FOTOGRAMÉTRICAS	84
FIGURA 6.1 – ESQUEMA DE DISPOSITIVOS PARA AQUISIÇÃO DE LIDAR(ADAPTADO DE JENSEN, 2007).	89
FIGURA 6.2 – DIFERENÇAS ENTRE TÉCNICAS FOTOGRAMÉTRICAS E TECNOLOGIA LIDAR.	90
FIGURA 7.1 - PRINCÍPIO DOS FEIXES PERSPECTIVOS QUE ORIGINAM UMA CAPTURA EM PERSPECTIVA CENTRAL (ADAPTADO DE Z/I IMAGING CORPORATION, 2009).	95
FIGURA 7.2 - PROJEÇÃO ORTOGONAL (ADAPTADO DE Z/I IMAGING CORPORATION, 2009).	96
FIGURA 7.3 - PRINCÍPIO DA RECTIFICAÇÃO DIFERENCIAL (ADAPTADO DE LILLESAND, KIEFER, 2000).....	100
FIGURA 7.4 – FOTOGRAFIA AÉREA ORIGINAL VERSUS FOTOGRAFIA AÉREA RECTIFICADA	101
FIGURA 7.5 - ORTOFOTOMAPA SEM EDIÇÃO DE <i>SEAMLINES</i> E CORRECÇÃO RADIOMÉTRICA.	103
FIGURA 8.1 - VISUALIZAÇÃO DO PLANO DE VOO DA ÁREA DE ESTUDO (<i>GOOGLE EARTH</i>)	106

FIGURA 8.2 - EDIÇÃO DAS PROPRIEDADES DA FOTOGRAFIA NA APLICAÇÃO <i>LEICA GEOSYSTEMS CALIBRATION POST PROCESSING</i>	108
FIGURA 8.3 - LOCALIZAÇÃO DO APOIO FOTOGRAMÉTRICO	109
FIGURA 8.4 - <i>ISAT</i> NA FASE DE CRIAÇÃO DO PROJECTO DE AEROTRIANGULAÇÃO.	110
FIGURA 8.5 - <i>ISAT</i> NA FASE DEFINIÇÃO DO SISTEMA DE COORDENADAS DO PROJECTO DE AEROTRIANGULAÇÃO.	111
FIGURA 8.6 - <i>ISAT</i> NA FASE DE DEFINIÇÃO DOS PARÂMETROS DA CÂMARA USADA NO VOO FOTOGRAMÉTRICA.	112
FIGURA 8.7 - <i>ISAT</i> NO MOMENTO DE IMPORTAÇÃO DOS POSEO E TEMPO-GPS PARA PROJECTO DE AEROTRIANGULAÇÃO.	113
FIGURA 8.8 - <i>ISAT</i> NO MOMENTO DE IMPORTAÇÃO DOS PONTOS DE APOIO PARA PROJECTO DE AEROTRIANGULAÇÃO.	114
FIGURA 8.9 - <i>ISAT</i> NA VALIDAÇÃO DA POSIÇÃO DOS POSEO E PONTOS DE APOIO.	115
FIGURA 8.10 - <i>ISAT</i> NA GERAÇÃO DE FORMA AUTOMÁTICA DOS PONTOS DE LIGAÇÃO E DE PASSAGEM.	116
FIGURA 8.11 - <i>ISAT</i> NA CRIAÇÃO DOS BLOCOS DE AEROTRIANGULAÇÃO.	117
FIGURA 8.12 - <i>ISAT</i> ONDE É OBSERVÁVEL A MEDIÇÃO DO APOIO DE CAMPO.	118
FIGURA 8.13 - <i>ISAT</i> NA VERIFICAÇÃO DA QUALIDADE DO AJUSTAMENTO E DOS RESÍDUOS ASSOCIADOS A CADA PONTO.	118
FIGURA 8.14 – INFORMAÇÃO VECTORIAL PARA GERAÇÃO DO MDT.	119
FIGURA 8.15 – SUPERFÍCIE DO TERRENO COM UM GRADIENTE DE COR CONSOANTE A OROGRAFIA.	120
FIGURA 8.16 – ARRASTAMENTOS DA IMAGEM DEVIDO A UM PONTO ANÓMALO NO MDT.	120
FIGURA 8.17 – SEQUÊNCIA DE OPERAÇÕES PARA PRODUÇÃO DE UM ORTOFOTOMAPA (ADAPTADO DE <i>Z/I IMAGING CORPORATION, 2009</i>).	121
FIGURA 8.18 – <i>ORTHOPro</i> NA DEFINIÇÃO DO SISTEMA DE COORDENADAS.	122
FIGURA 8.19 – SEQUÊNCIA DE OPERAÇÕES PARA DEFINIÇÃO DO PROJECTO <i>ORTHOPro</i> (ADAPTADO DE <i>Z/I IMAGING CORPORATION, 2009</i>).	123
FIGURA 8.20 – <i>ORTHOPro</i> COM OS VÁRIOS FICHEIROS DE ENTRADA NECESSÁRIOS AO PROCESSO.	124
FIGURA 8.21 - <i>ORTHOPro</i> ONDE SÃO VISÍVEIS TODOS OS ELEMENTOS DE ENTRADA.	125
FIGURA 8.22 – <i>ORTHOPro</i> NA FASE DE DEFINIÇÃO DE PARÂMETROS PARA A RECTIFICAÇÃO DIFERENCIAL.	126
FIGURA 8.23 – ESQUEMA COM OS MENUS DOS PARÂMETROS A DEFINIR PARA A RECTIFICAÇÃO DIFERENCIAL (ADAPTADO DE <i>Z/I IMAGING CORPORATION, 2009</i>).	126
FIGURA 8.24 – FICHEIRO LUT COM NÚMERO DE PÍXEIS E RESPECTIVOS VALORES RGB.	131
FIGURA 8.25 – <i>ORTHOPro</i> COM A VISUALIZAÇÃO PRÉVIA DA EXACTIDÃO POSICIONAL DA IMAGEM RECTIFICADA.	132
FIGURA 8.26 – <i>ORTHOPro</i> NA DEFINIÇÃO DAS PROPRIEDADES DA IMAGEM OUTPUT.	133
FIGURA 8.27 – OPÇÃO DE ORGANIZAÇÃO DOS DADOS RASTER.	134
FIGURA 8.28 – FICHEIRO ASCII CONTENDO OS ELEMENTOS DE GEORREFERENCIAÇÃO DA IMAGEM.	135
FIGURA 8.29 – OPÇÃO NO <i>ORTHOPro</i> PARA ESCOLHA DA ORGANIZAÇÃO DOS DADOS RASTER.	135
FIGURA 8.30 - OPÇÃO NO <i>ORTHOPro</i> PARA ESCOLHA DO MÉTODO E DO FACTOR DE COMPRESSÃO DOS DADOS RASTER.	136
FIGURA 8.31 - OPÇÃO NO <i>ORTHOPro</i> PARA ESCOLHA DO TIPO DE PIRÂMIDE A SER ADOPTADA.	137
FIGURA 8.32 – <i>I/RASC</i> COM A IMAGEM ORIGINAL E A IMAGEM JÁ RECTIFICADA SOBREPOSTA À CARTOGRAFIA.	138
FIGURA 8.33 – <i>GEOMEDIA</i> COM A VISUALIZAÇÃO DA TOTALIDADE DOS ORTOFOTOS PARA A ÁREA DE ESTUDO.	139

FIGURA 8.34 – ESQUEMA COM OS MENUS DOS PARÂMETROS A DEFINIR PARA O BALANCEAMENTO <i>DODGE</i> (ADAPTADO DE Z/I IMAGING CORPORATION, 2009).	140
FIGURA 8.35 – DEFINIÇÃO DE PARÂMETROS PARA REALIZAR O <i>DODGING</i> NO <i>ORTHOPro</i> .	142
FIGURA 8.36 – EVOLUÇÃO DA IMAGEM RECTIFICADA PARA APÓS PROCESSAMENTO <i>DODGING</i> .	144
FIGURA 8.37 – DEFINIÇÃO DE PARÂMETROS PARA A CRIAÇÃO DE <i>SEAMLINES</i> NO <i>ORTHOPro</i> .	145
FIGURA 8.38 – ESQUEMA COM OS MENUS DOS PARÂMETROS A DEFINIR PARA A CRIAÇÃO DE <i>SEAMLINES</i> (ADAPTADO DE Z/I IMAGING CORPORATION, 2009).	146
FIGURA 8.39 – <i>SEAMLINES</i> CRIADAS COM O MÉTODO <i>CLOSEST CAMERA CENTER METHOD</i> DO <i>ORTHOPro</i> .	147
FIGURA 8.40 – <i>SEAMLINES</i> CRIADAS COM O <i>SMART SEAMS METHOD</i> DO <i>ORTHOPro</i> .	148
FIGURA 8.41 – ESQUEMA COM A ÁREA DAS IMAGENS IMPORTADAS.	148
FIGURA 8.42 – ESQUEMA COM A ÁREA ÚTIL DAS IMAGENS.	149
FIGURA 8.43 – ESQUEMA COM A ÁREA ONDE SERÁ FEITA A JUNÇÃO DAS IMAGENS.	149
FIGURA 8.44 – DEFINIÇÃO DE PARÂMETROS PARA EXPORTAÇÃO DAS <i>SEAMLINES</i> NO <i>ORTHOPro</i> .	150
FIGURA 8.45 – EDIÇÃO DE <i>SEAMLINES</i> EM AMBIENTE I/RASC.	150
FIGURA 8.46 – IMPORTAÇÃO PARA AMBIENTE GEOMEDIA DAS <i>SEAMLINES</i> PREVIAMENTE EDITADAS.	151
FIGURA 8.47 – ESQUEMA COM A SEQUÊNCIA DE PASSOS PARA ASSOCIAÇÃO DE UM POLÍGONO A UMA IMAGEM (ADAPTADO DE Z/I IMAGING CORPORATION, 2009).	152
FIGURA 8.48 – ASSOCIAÇÃO DE UM POLÍGONO A UMA IMAGEM NO <i>ORTHOPro</i> .	152
FIGURA 8.49 – HOMOGENEIZAÇÃO AUTOMÁTICA DE TOM ENTRE IMAGENS ADJACENTES.	153
FIGURA 8.50 – ESQUEMA COM A SEQUÊNCIA DE PASSOS PARA A CRIAÇÃO DE MOSAICO (ADAPTADO DE Z/I IMAGING CORPORATION, 2009).	154
FIGURA 8.51 – DEFINIÇÃO DE PARÂMETROS PARA A CRIAÇÃO DO ORTOFOTOMAPA NO <i>ORTHOPro</i> .	155
FIGURA 8.52 – VISUALIZAÇÃO DA DISTÂNCIA DE TRANSIÇÃO DE 0 PÍXEIS, A MESMA É MUITO NOTÓRIA.	156
FIGURA 8.53 – VISUALIZAÇÃO DA DISTÂNCIA DE TRANSIÇÃO DE 16 PÍXEIS, A MESMA É PRATICAMENTE IMPERCEPTÍVEL.	156
FIGURA 8.54 – VISUALIZAÇÃO DA MESMA ÁREA ANTES E APÓS CORRECÇÃO RADIOMÉTRICA.	157
FIGURA 8.55 – VISUALIZAÇÃO DO AMBIENTE GEOMEDIA COM OS ORTOFOTOS E <i>SEAMLINES</i> PARA GERAR OS ORTOFOTOMAPAS.	158
FIGURA 8.56 – VISUALIZAÇÃO DOS ORTOFOTOMAPAS PARA TODO O PERÍMETRO URBANO DE ALBUFEIRA.	159
FIGURA 9.1 – VISUALIZAÇÃO NOS ORTOFOTOMAPAS DOS PF ADQUIRIDOS EM LEVANTAMENTO TOPOGRÁFICO.	163
FIGURA 9.2 – VISUALIZAÇÃO NOS ORTOFOTOMAPAS DOS PF E DAS ESTATÍSTICAS DE MEDIÇÃO.	163
FIGURA 9.3 – ILUSTRAÇÃO DO HISTOGRAMA DE UMA IMAGEM DIGITAL (ADAPTADO DE Z/I IMAGING CORPORATION, 2009).	166
FIGURA 9.4 – IMAGEM COM BAIXO CONTRASTE E RESPECTIVO HISTOGRAMA (A), IMAGEM COM ALTO CONTRASTE E RESPECTIVO HISTOGRAMA (B) (ADAPTADO DE Z/I IMAGING CORPORATION, 2009).	167
FIGURA 12.1 – LANÇAMENTO DO UAV SUZANNE DAVEAU.	176

Índice de Tabelas

TABELA 1.1 – VERTENTES DAS ÁREAS DE NEGÓCIO DA ESTEREOFOTO.....	5
TABELA 3.1 - DIMENSÕES DO TERRENO CAPTADO NUMA FOTOGRAFIA (ADAPTADO DE CASACA ET AL., 2000).	26
TABELA 3.2 – PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS DA DMC01-0129 (FONTE: HTTP://LEICA-GEOSYSTEMS.COM/PRODUCTS/AIRBORNE-SYSTEMS/IMAGING-SENSORS).....	30
TABELA 3.3 – DIVERSOS TIPOS DE CÂMARA E SUAS CARACTERÍSTICAS (ADAPTADO DE HTTP://LEICA-GEOSYSTEMS.COM/PRODUCTS/AIRBORNE-SYSTEMS/IMAGING-SENSORS).....	31
TABELA 3.4 - PARÂMETROS PARA PLANEAMENTO DE VOO (ADAPTADO DE HTTP://LEICA-GEOSYSTEMS.COM/PRODUCTS/AIRBORNE-SYSTEMS/IMAGING-SENSORS).....	34
TABELA 3.5 – VALORES DE PRECISÃO NORMATIVOS PARA AS COORDENADAS CARTOGRÁFICAS DOS PF (ADAPTADO DE HTTP://WWW.DGTERRITORIO.PT/STATIC/REPOSITORY/).	43
TABELA 4.1 - RELAÇÃO ENTRE O NÚMERO DE BITS E O NÚMERO DE CORES DE UMA IMAGEM (ADAPTADO DE JENSEN, 2007) 52	
TABELA 4.2 - EXEMPLO DE VALORES DE MÉDIA E DESVIO PADRÃO DOS BLOCOS, DAS IMAGENS E DO CONJUNTO DAS IMAGENS QUE FORMAM O PROJECTO.	68
TABELA 5.1 – VALORES DE PRECISÃO PARA PRODUTOS CARTOGRÁFICOS. FONTE DGT.	81
TABELA 5.2 - HISTÓRICO DA FOTOGRAMETRIA (ADAPTADO DE AUGUSTO, 2000).	83

1 Introdução

1.1 Enquadramento

Actualmente a elaboração dos diversos produtos cartográficos passa pela utilização de tecnologias e processos automáticos, que permitem obter produtos digitais que vêm facilitar a utilização dos mesmos em função das ferramentas disponíveis e de acordo com os objectivos pretendidos, como o cruzamento dos diversos temas de informação geográfica como cartografia topográfica e ortocartografia, com planos municipais, como planos de pormenor, de urbanização ou Plano Director Municipal. A integração de todos estes dados em Sistemas de Informação Geográfica (SIG) auxilia nas mais diversas actividades de planeamento do território e constituem-se como um importante instrumento de apoio à tomada de decisão.

A detecção remota define-se actualmente como uma ciência e tecnologia de aquisição de informação sobre um objecto sem contacto directo entre este e o sensor. Pode-se então depreender que todo o processo de aquisição de informação não só se tornou menos moroso como também menos oneroso, dado que uma grande parte dos processos é realizada com recursos a automatismos computacionais.

Para além disso, este desenvolvimento tecnológico veio permitir obter precisões e rigor, até ao momento difícil de alcançar. O conhecimento do processo de criação dos dados e a monitorização da qualidade conseguida em cada etapa revela-se crucial para estabelecer os níveis de precisão exigidos.

Porem a sua componente temporal não é menos importante, esta representa a fiabilidade de utilização dos dados durante um determinado período de tempo. A pertinência de actualização dos mesmos está directamente ligada à dinâmica do território e os seus custos variam em função da área em causa, da caracterização desse mesmo território e do pormenor pretendido (escala). A solução mais assertiva parece ser garantir a fiabilidade dos dados e durante o maior período de tempo possível.

No entanto, as constantes transformações a que o território está sujeito, obriga a aquisição com periodicidade reduzida, de cartografia, por parte das entidades competentes. O surgimento da fotogrametria digital nos finais do século XX veio trazer

importantes avanços, permitindo a criação de produtos cartográficos de uma forma muito mais rápida e eficiente.

O produto cartográfico ortofotomapa insere ainda mais ganhos, a sua produção é mais célere e envolve menores custos, comparativamente à cartografia vectorial, dita tradicional, possibilitando assim, uma actualização com espaços temporais mais curtos.

Como tal o ortofotomapa, constitui-se como um produto cartográfico de valor acrescido na ajuda à gestão do território e uma forte valia na interpretação do mesmo em ambiente SIG.

O principal objectivo proposto para o estágio de âmbito curricular consistiu na produção de ortofotomapas com recurso às diversas tecnologias actuais no âmbito da detecção remota.

A produção de ortofotomapas insere uma sequência de processos (Figura 1.1) no terreno e em gabinete que foram realizados durante o período de estágio. A área de estudo em que foi desenvolvido o projecto foi no concelho de Albufeira, mais precisamente a área da Marina (Figura 1.2).

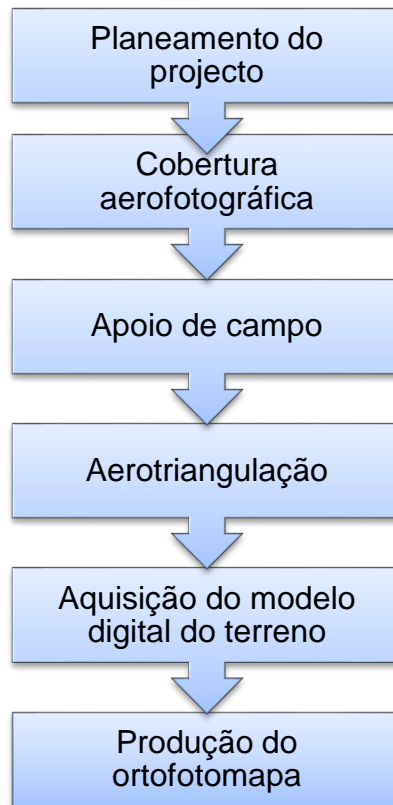


Figura 1.1 – Sequência de processos para gerar um ortofotomapa.



Figura 1.2 – Área de estudo.

1.2 Enquadramento Empresarial

A Estereofoto GeoEngenharia S.A. é uma empresa de Tecnologias de Informação Geográfica, cuja actividade consiste na aplicação de soluções tecnológicas para a promoção de produtos e serviços de base cartográfica e de informação especializada, tratada e georreferenciada.

Fundada em 1973, possui um currículo empresarial demonstrativo de uma intervenção transversal em vários domínios e cuja qualidade de serviços é evidenciada pela preferência contínua dos seus clientes pelas suas soluções.

A Sede, o Gabinete de Produção e os Serviços de Apoio Administrativo e Financeiro estão situados em Carnide, Lisboa. Além de uma delegação em Braga também tem presença internacional no Brasil, Roménia, Bulgária, Polónia, Guiné Equatorial e Moçambique.

Já desenvolveu projectos (Figura 1.3) na Roménia, Bulgária, República Checa, Polónia, Holanda, França, Espanha, Índia, Guiné-Bissau, Guiné Equatorial, S. Tomé e Príncipe, Angola, Moçambique, Brasil e Portugal (Continente e Ilhas).



Figura 1.3 – Presença da Estereofoto no mundo (fonte: <http://www.estereofoto.pt>).

A Estereofoto, desenvolve trabalhos em diversas áreas das tecnologias de informação geográfica e em áreas subsequentes desta. Desde a aquisição de informação georreferenciada, ao processamento e gestão da mesma e a processos decorrentes, assegurando todo o ciclo de informação geográfica.

A empresa materializa a sua presença no mercado nacional e internacional em diversas áreas de negócio, como: cartografia base, eléctrica, gás, rodovia, ferrovia, telecomunicações, ordenamento do território, assentes em quatro vertentes fundamentais (tabela 1.1).

Tabela 1.1 – Vertentes das áreas de negócio da Estereofoto.

Informação Geo-espacial	
Aquisição de Informação	Fotografia aérea LiDAR Fotogrametria Videometria Topografia
Cartografia	Cartografia digital Modelos digitais de terreno (DTM/ DSM) Ortofotomapas Modelação visualização 3D
Cadastro	
Expropriações e Servidões (avaliações e negociações)	
Avaliações de Engenharia	
Inventários Agrícolas e Florestais	
Inspecções	Infra-estruturas enterradas Vias de comunicação Linhas aéreas de energia
Sistemas de Informação Geográfica	Desenvolvimento de plataformas WebGIS Desenvolvimento e Gestão de Bases de Dados
Consultoria	

1.3 Estrutura do Relatório

O presente relatório de estágio apresenta-se estruturado em dez partes. O primeiro capítulo enquadra o tema, através de uma breve abordagem ao recurso à detecção remota no sector da produção cartográfica, apresentando os objectivos definidos para este trabalho, bem como, a sequência desenvolvida para chegar ao produto final. Este capítulo é concluído com uma apresentação sumária da empresa onde o estágio foi realizado.

Do segundo ao sétimo capítulo são de índole teórica. O segundo capítulo além de uma breve resenha histórica, expõem-se alguns conceitos ligados à detecção remota e evolução dos mesmos ao longo dos tempos.

No terceiro capítulo, faz-se alusão à fotogrametria como ciência e ou arte de se obter medições e representações da superfície terrestre, expondo-se as suas diversas componentes.

O quarto capítulo, explica a imagem digital e os procedimentos requeridos em especial no tratamento de fotografia aerofotogramétrica, o quinto capítulo explica todo o processo da fotogrametria digital, desde a triangulação aérea até à restituição fotogramétrica e o sexto capítulo esclarece e compara as diversas formas de aquisição do modelo digital do terreno, nomeadamente, usando técnicas fotogramétricas, ou por correlação automática de imagem ou por aquisição de sensor LiDAR.

O processo de produção de um ortofotomapa é explanado no sétimo capítulo.

O oitavo capítulo, intitulado “Projecto de Elaboração de Ortofotomapas”, expõe todas as etapas práticas do processo de produção realizado em âmbito de estágio, desde o pós-processamento do voo fotogramétrico até à produção e edição de um ortofotomapa.

No nono capítulo apresentam-se as metodologias usadas para realizar o controlo da qualidade posicional e radiométrica do ortofotomapa obtido.

No último capítulo, o décimo, tecem-se considerações sobre os resultados observados nos vários processos, fazendo-se uma reflexão sobre os defeitos e as

virtudes dos métodos e técnicas usados na produção do ortofotomapa, bem como se destacam algumas mais-valias decorrentes da utilização de imagem em projectos SIG.

2 Detecção Remota

O termo "detecção remota", usado pela primeira vez nos Estados Unidos na década de 1950 por Ms. Evelyn Pruitt do *United States Office of Naval Research* (USONR), agora é comumente usado para descrever a ciência e arte de identificar, observar e medir um objecto sem entrar em contacto directo com o mesmo. Este processo envolve a detecção e medição de radiação de diferentes comprimentos de onda reflectida ou emitida a partir de objectos ou materiais distantes, pelo qual eles podem ser identificados e categorizados por classe/tipo, substância e distribuição espacial.

Inicialmente, as imagens tinham uma baixa resolução geométrica, ou seja, era enorme a dificuldade em distinguir-se os inúmeros objectos captados. Isto era causado pela grande distância que existia entre os satélites e a superfície terrestre e pela fraca evolução dos sistemas de lentes, o que levava à impossibilidade do uso dessas imagens nas estruturas existentes para processamento fotogramétrico, isto porque os aparelhos eram concebidos apenas para imagens adquiridas em avião e segundo determinado padrão. Os sistemas computacionais de processamento de imagens digitais ainda eram rudimentares para suportar as pesadas rotinas que o processo fotogramétrico exigia, inviabilizando a visualização estereoscópica dessas imagens.

A fotogrametria, seguiu o seu rumo anteriormente estabelecido (usando a fotografia aérea), deixando a investigação dessas imagens a cargo de outros especialistas que nelas tinham visto oportunidade de extrair informação por eles considerada relevante (geógrafos, oceanógrafos, geólogos, etc.).

Ao início existiu, embora que informal, uma dicotomia entre fotogrametria e sensor remoto, contudo as associações que congregavam os profissionais de fotogrametria não seguiram esta divergência, abraçando também o estudo das imagens de sensores remotos. Um caso notório foi no final da década de 1970, a troca do nome de *American Society of Photogrammetry* – Sociedade Americana de Fotogrametria (ASP) para *American Society for Photogrammetry and Remote Sensing* –

Sociedade Americana de Fotogrametria e Detecção remota (ASPRS), acontecendo o mesmo com a *International Society for Photogrammetry and Remote Sensing* (ISPRS).

Tais decisões não foram tomadas de forma irreflectida, os especialistas verificaram que não era assertiva essa divisão entre duas ciências complementares e na sequência, foram estabelecidas definições para orientar os profissionais e investigadores quanto às funções e abrangência de cada uma delas.

Um dos presidentes que a ASPRS teve, Thomas Lillesand, no livro do qual é co-autor, define detecção remota como “a ciência e arte de se obter informação sobre um objecto, área ou fenómeno através da análise dos dados adquiridos por um aparelho que não está em contacto com o objecto, área ou fenómeno sob investigação”, o mesmo livro descreve a fotogrametria, como sendo “a ciência e tecnologia de se obter medições e outros produtos geometricamente confiáveis a partir de fotografias” (Lillesand et al., 2008).

Porem a ISPRS faz a junção das duas técnicas num só conceito “fotogrametria e detecção remota é a arte, ciência e tecnologia de se obter informação confiável de imagens de sensores imagem e outros, sobre a Terra e o seu meio ambiente, e outros objectos físicos e processos através de gravação, medição, análise e representação” (<http://www.isprs.org/>).

A definição da ISPRS é mais abrangente, não fazendo uma distinção de conceitos e consequentemente, fugindo da discussão sobre confiabilidade das informações obtidas. Além disso, a definição dá uma noção de que ambas as ciências estão altamente relacionadas, como se fossem uma só, de facto a tendência com o desenvolvimento da fotogrametria digital e dos sensores orbitais compatíveis com a actividade fotogramétrica é que a fotogrametria esteja inserida no contexto global de detecção remota, levando a uma outra definição “ciência e tecnologia de aquisição de informação sobre um objecto sem contacto directo entre este e o sensor” (<http://www.isprs.org/>).

Hoje em dia, o sensor é um instrumento muito importante na detecção remota. É utilizado em terra, nos aviões ou a bordo dos satélites. Os detectores de cada

scanner foram concebidos para receber radiações em canais específicos. O número de canais, a sua largura e posicionamento no espectro electromagnético variam de sensor para sensor, dando origem a características de resolução espectral diferentes. Estas combinações de factores determinam as utilizações para as quais as imagens dos sensores são mais adequadas.

Os sistemas de sensores de radar são utilizados tanto em aviões como em satélites. As suas imagens podem revelar pormenores topográficos e, se a mesma área for observada em dois ângulos diferentes, pode calcular-se a distância dos objectos em relação ao satélite, o que permite deduzir a sua altitude acima do nível do mar (interferometria). Estes dados podem ser utilizados na cartografia a três dimensões. (3D). Estes modelos de terreno são utilizados, por exemplo, no sistema de controlo de mísseis capazes de encontrar o seu caminho para os alvos. O sistema de controlo de mísseis pode comparar a paisagem por onde passa com o modelo de terreno levantado e navegar automaticamente em direcção ao alvo. Os dados podem também ser utilizados para outros fins, como a avaliação do impacto das cheias etc.

O Ser Humano interpreta o meio que o rodeia através dos seus cinco sentidos. Alguns desses sentidos como o tacto e o paladar são activados apenas no momento em que acontece o contacto directo dos respectivos órgãos sensoriais sobre os objectos¹. No entanto os sentidos da audição e da visão não requerem esse contacto directo, entre os nossos órgãos sensores e os objectos externos. Pode-se assim dizer que o Homem realiza interruptamente detecção remota (Figura 2.1).

¹ Objecto – Entidade do terreno, ou elemento representativo do terreno, com atributos de posição e descritivos da Classe ou Classes a que pertence.

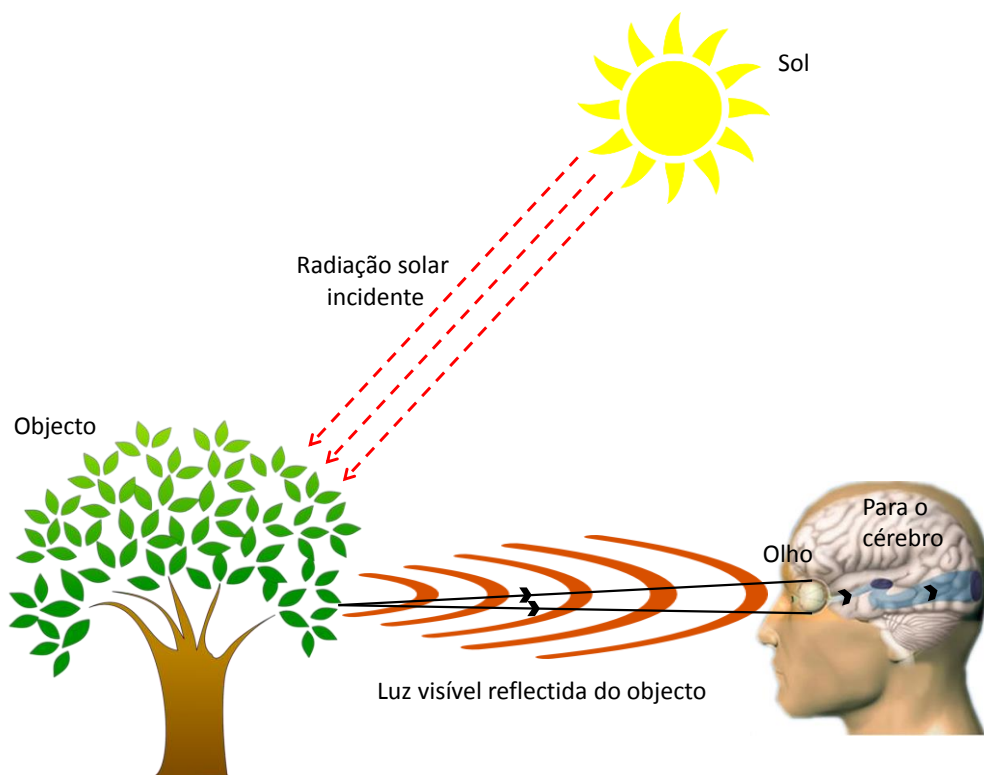


Figura 2.1 - O sistema visual humano, tal como um sistema de detecção remota passivo depende de uma fonte exterior de iluminação (adaptado de Lillesand, Kiefer, 2000).

2.1 Conceitos de Detecção Remota

O sistema visual humano é um exemplo de um sistema de detecção remota no sentido lato (Figura 2.1). Os sensores deste exemplo são os dois tipos de células fotossensíveis, conhecidos como os cones e os bastonetes que se situam na retina dos olhos. Os cones são responsáveis pela percepção das cores. Existem três tipos de cones, sendo cada um deles sensível a uma das regiões do espectro visível: vermelho, verde e azul. Os bastonetes são sensíveis apenas à intensidade da luz, não discernindo cores, assim, tudo surge em tons de cinza quando não existe luz suficiente.

Com a evolução da Física ao longo dos anos, os cientistas perceberam que a luz possui um comportamento similar ao das ondas electromagnéticas, a luz é uma oscilação que se propaga no vácuo com uma certa variação no tempo, frequência, logo

estas determinam as cores para a luz. Para uma determinada faixa de frequências podemos observar as cores e essa faixa de cores é chamada de "espectro de luz visível" (Figura 2.2).

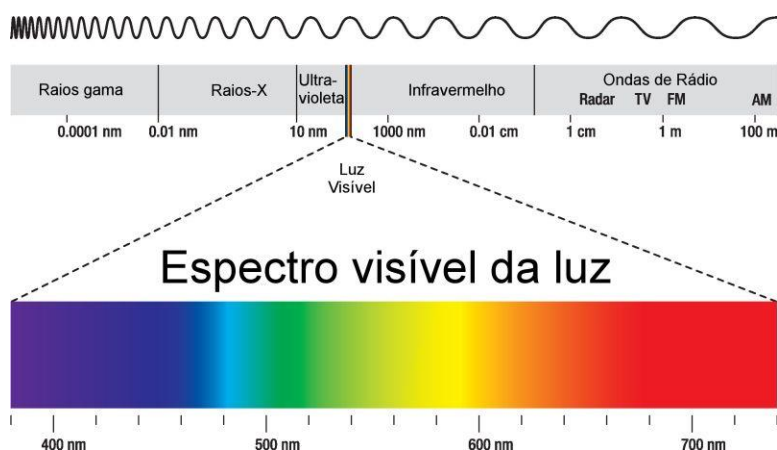


Figura 2.2 – Representação do Espectro visível da luz (adaptado de Lillesand, Kiefer, 2000).

Os limites do espectro visível variam de pessoa para pessoa, os olhos dos seres humanos têm uma faixa definida, limitada entre 350nm a 700nm ($0,7\mu\text{m}$) dos comprimentos de ondas para a luz visível.

Podemos dizer então que para cada cor temos uma determinada frequência e comprimento de onda que a distingue das demais, detemos por exemplo: a luz vermelha que é uma luz de menor frequência e consequentemente menos energia, já o violeta é uma luz de maior frequência e que nos submete a maior energia.

Existe a relação entre comprimento de onda (λ) e frequência (f) cuja relação é inversamente proporcional, onde o comprimento da onda é dado pela divisão da velocidade da onda (no caso a velocidade da luz ($c = 3 \times 10^8 \text{ m/s} \dots \text{ Ou } \text{m.s}^{-1}$)), pela frequência da onda. $\lambda = c/f$. Quando a luz entra na retina excita as células dos cones. A excitação dos diferentes tipos de células dos cones determina a cor vista pelo observador.

Como os objectos/eventos que são observados estão distanciados dos olhos, necessitam de um canal de transmissão, a luz visível. Os objectos reflectem/dispersam a luz que sobre eles incide, parte dessa luz dispersa é interceptada pelos olhos, formando uma imagem sobre a retina depois de passar através do sistema óptico dos olhos. Os sinais gerados na retina são transmitidos através das fibras nervosas para o cérebro, a unidade central de processamento (CPU) do sistema visual. Estes sinais são processados/interpretados no cérebro, com o auxílio de experiências anteriores.

Ao actuar deste modo, o sistema visual é um exemplo de um "Sistema Remoto Passivo", que depende de uma fonte externa de energia para funcionar.

No universo mais restrito das ciências da terra, detecção remota, refere-se à tecnologia usada para a aquisição de informação à superfície da terra (mar) atmosfera, por meio de sensores instalados em aviões, balões, satélites, naves espaciais (Figura 2.3).

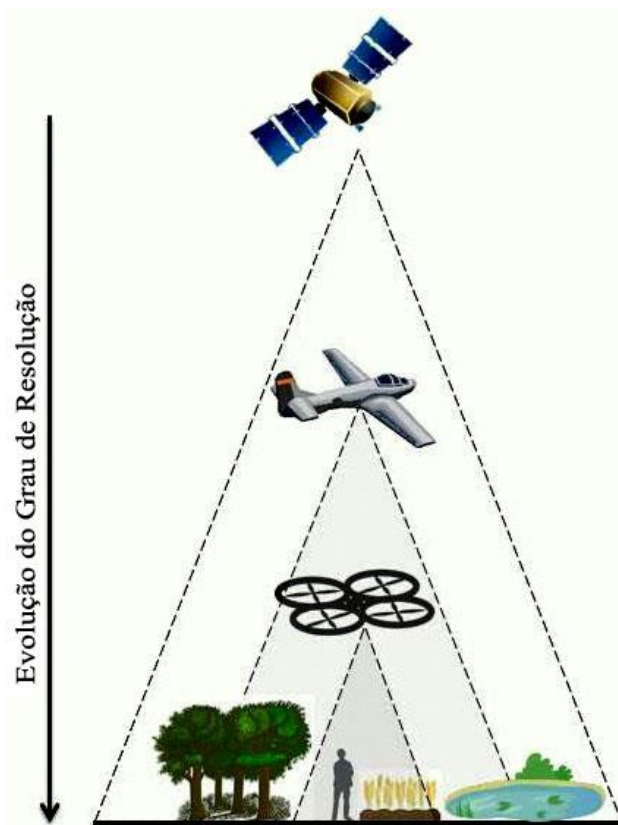


Figura 2.3 – Exemplos de sensores de detecção remota.

(fonte: <https://www.ucalgary.ca>)

2.2 Resenha Histórica

Pode dizer-se que a tecnologia de detecção remota moderna teve início com a invenção da câmara fotográfica, há quase 200 anos. Ao francês Joseph Nicéphore Niépce é atribuída a autoria da imagem fotográfica mais antiga que conhecemos (Figura 2.4), ao fixar a imagem da vista do sótão da sua casa de campo, em 1826. Utilizou uma placa de estanho que cobriu com um derivado de petróleo fotossensível chamado betume branco da Judeia. Este material tinha a propriedade de endurecer ao ser exposto à luz solar. Depois de exposto durante oito horas, retirou as partes não solarizadas e obteve uma imagem em que a ausência de meios-tons era notória, não servindo assim o seu propósito de obter imagens que pudessem ser utilizadas em litografia, o que provocou nele uma ainda maior motivação no aperfeiçoamento do seu processo.



Figura 2.4 – Primeira imagem fotográfica obtida por Joseph Nicéphore Niépce em 1826
(fonte: <https://www.studyblue.com/notes/note/n/history-of-photography>).

O também francês Louis Daguerre, desenvolveu em 1839 um processo de fixação da imagem produzida pela luz (descoberta da fotografia) que foi reconhecido pela Academia Francesa de Ciências.

O primeiro registo de uso de imagens fotográficas para suporte ao mapeamento foi em 1842 quando Francis Arago, director do Observatório de Paris, demonstrou a possibilidade de utilização de fotografias como apoio em levantamentos topográficos.

Em 1849, o Coronel Aimé Laussedat, um oficial do exército francês, utilizou um sistema fotográfico desenvolvido por Daguerre. Este sistema instalado num balão de ar quente (Figura 2.5) tinha como finalidade obter fotografias aéreas para suporte ao mapeamento topográfico.



Figura 2.5 – Balão de ar quente utilizado por Aimé Laussedat para obter fotografias aéreas.

(fonte: <https://www.studyblue.com/notes/n/history-of-photography>).

Desde então sucederam-se os desenvolvimentos no âmbito da fotografia aérea, motivados principalmente pelo próprio desenvolvimento da fotografia convencional. Destacando-se nesta evolução, o uso de uma base de nitrocelulose para as imagens, substituindo a base frágil e pesada de vidro desenvolvida em 1889 por George Eastman. Acompanhando o desenvolvimento de técnicas e materiais no âmbito da fotografia aérea, foram surgindo diversos equipamentos curiosos. Entre eles, destaca-se uma câmara desenvolvida e patenteada por um farmacêutico alemão Julius Neubronner em 1903. Este começou por utilizar pombos-correio para receber e enviar receitas urgentes para um dos hospitais da região. Um dia, depois de um dos seus pombos reaparecer após um mês fora, Neubronner começou a pensar numa forma de monitorizar esses voos. Pouco tempo depois, Neubronner, que também era fotógrafo

amador, desenvolveu uma câmara leve (70g), com um temporizador para os pombos levarem nos seus percursos (Figura 2.6), surgiu uma forma de tirar as (então) inovadoras fotografias aéreas.



Figura 2.6 – Pombos-correio utilizados por Neubronner em 1903 para captar fotografias aéreas (fonte: <https://www.theatlantic.com/technology/archive>).

Durante a Primeira Guerra Mundial, Frederick Charles Victor Laws, oficial da Força Aérea Real Britânica e também fotógrafo amador, descobriu que fotografias aéreas tiradas com cerca de 60% de sobreposição criavam um efeito estereoscópico permitindo a percepção de profundidade, o que melhorava a qualidade de informação fornecida aos serviços de inteligência, utilizada por estes para cartografar o teatro de guerra e assim disponibilizar essa informação aos comandantes no terreno em tempo record, metodologia também adoptada pelas tropas alemãs (Figura 2.7).



Figura 2.7 - Avião de reconhecimento alemão utilizado durante a I Guerra Mundial, o Rumpler Taube (fonte: <http://modelingmadness.com/review/w1/ger/bakertaube.htm>).

Em 1930, com o aperfeiçoamento dos processos de revelação e cópia das fotografias aéreas, os Estados Unidos, Canadá e Alemanha realizaram as primeiras coberturas sistemáticas dos seus territórios, para fins de levantamento de recursos naturais, dando uma crescente importância da fotointerpretação para uso civil (Novo, 1992).

O americano Stevens, em 1931, recorrendo aos conhecimentos sobre o comportamento espectral de objectos na superfície terrestre, desenvolveu o filme infravermelho.

Mas, sem dúvida nenhuma, o advento da II. Guerra Mundial, produziu um notável desenvolvimento das técnicas de detecção remota incorporado em aeronaves. Como parte dos preparativos para a Invasão da Normandia (Dia D), foram utilizadas fotografias aéreas para cartografar as condições costeiras de modo a identificar os locais de desembarque mais adequados. Medindo as ondas junto à costa, foi possível determinar o seu comprimento e calcular a profundidade da água.

Em 1940, com o desenvolvimento de sensores radiométricos, sensíveis à radiação infravermelha, o americano Duntley realizou as primeiras medições radiométricas de objectos da superfície terrestre. Também nesta época, a *Kodak Research Laboratories* desenvolve os primeiros filmes infravermelhos, sensíveis a porção do infravermelho (0,9 - 1,0 mm), ao contrário dos filmes a preto e branco, sensíveis apenas à faixa do visível (0,5 - 0,7 mm) do espectro electromagnético, permitindo aos sensores a medição da radiação térmica emitida pela superfície da Terra, possibilitando a identificação da vegetação verde e distingui-la das redes de camuflagem das tropas inimigas. Neste período, as câmaras dedicadas para fotografia aéreas foram aperfeiçoadas, as emulsões coloridas ainda eram muito recentes, mas a fotografia colorida² foi uma novidade que despertou grande atenção (Linz e Simonett, 1976).

² Fotografia a Cores Naturais – Fotografia resultante da composição colorida dos registos da Radiação Eletromagnética nos comprimentos de onda do vermelho, verde e azul, traduzindo assim uma imagem tal como o olho humano a interpreta.

A partir de então até o início dos anos 60 do século passado, a fotografia aérea permaneceu instrumento único para representar a superfície de uma perspectiva vertical ou oblíqua.

A década de 1960 testemunhou o desenvolvimento da película sensível aos comprimentos de onda, que podia ser utilizada para cartografar elementos tais como os diferentes tipos de vegetação.

O desenvolvimento de outras tecnologias de detecção remota avançou rapidamente. Realizaram-se experiências de cartografia com sistemas de radar aerotransportados. O Programa *Television Infrared Observation Satellite* (TIROS), foi o passo experimental da NASA para determinar se os satélites poderiam ser úteis no estudo da Terra-.

TIROS 1, o primeiro satélite meteorológico, foi posto em órbita em 1960 (Figura 2.8). Este satélite fornecia ao *United States Weather Bureau* (USWB) imagens diárias das formações nublosas e representou um marco histórico nas previsões meteorológicas.

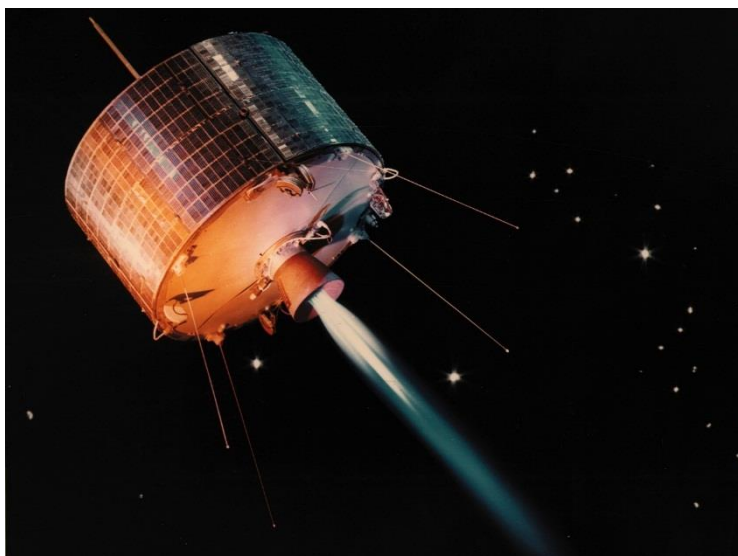


Figura 2.8 - TIROS 1, o primeiro satélite meteorológico, posto em órbita em 1960 (fonte: <https://www.britannica.com/topic/TIROS>).

O desenvolvimento da tecnologia de detecção remota não fotográfica progrediu rapidamente após a colocação em órbita do primeiro satélite cartográfico, o LANDSAT 1, em 1972 (Figura 2.9). Estava equipado com um novo tipo de sensor, um *scanner* multiespectral (MSS). Com esta nova tecnologia, os dados eram produzidos sob a forma de matrizes corológicas digitais, o que permitiu avanços substanciais em matéria de processamento de imagem.

Foi originalmente denominado *Earth Resources Technology Satellite* (ERST 1), era um satélite experimental e foi construído para demonstrar a viabilidade de aquisição de dados espaciais, espectrais e temporais de superfície da terra de maneira global e repetitiva, a partir do espaço. Além deste aspecto, os técnicos da NASA queriam testar o comportamento dos equipamentos sensores postos a bordo.



Figura 2.9 - LANDSAT 1, 1º satélite cartográfico, posto em órbita em 1972 (fonte: <https://landsat.gsfc.nasa.gov/about/history/>).

3 Fotogrametria

3.1 Introdução

A palavra fotogrametria³ é formada pela junção de três palavras de origem grega: *photon*, luz – *grafos*, descrição – *metron*, medida.

Fotogrametria como já abordado anteriormente foi inicialmente definida como sendo a ciência ou a arte de se obter medições e representações da superfície terrestre, dignas de confiança, através de fotografia. Esta passa a atender, não apenas a geógrafos/cartógrafos, mas a uma extensa série de técnicos e especialistas (meteorologistas, agrónomos, militares, economistas, urbanistas, etc.), que recorrem ao uso da fotointerpretação para representar os elementos visíveis na fotografia.

É atribuído o primeiro trabalho prático com câmaras fotogramétricas, ao engenheiro Aimé Laussedat, que em 1850, combinou o teodolito com a fotografia, criando o fototeodolito, conceituando na ciência, o estudo da fotogrametria terrestre ou estereofotogrametria.

A fotogrametria assenta de uma forma geral no princípio da visão estereoscópica, sendo que tal pressuposto não é obrigatório. Esta técnica mede geometricamente a dimensão e a posição dos objectos visíveis a partir de um modelo virtual em três dimensões, ou seja, é um conjunto de métodos que, com base em fotografia, permitem obter informação geométrica sobre os objectos fotografados (medição da forma e posição de objectos que aparecem numa imagem do terreno), configurando um método de detecção remota.

Trata-se, então, de uma transformação entre sistemas. Um sistema bidimensional, também designado sistema fotográfico e um sistema tridimensional, que representa o próprio espaço objecto. Usualmente utiliza-se um sistema bidimensional próprio de cada câmara, com origem aproximada no centro de cena e com recurso a coordenadas determinadas por calibração da câmara em laboratório, antes de sua utilização. O sistema tridimensional, o caso mais comum, representa o sistema de coordenadas do

³ Fotogrametria Aérea – Disciplina que tem por objeto extrair medições fiáveis e produzir representações topográficas a partir de fotografias aéreas.

terreno de acordo com as especificações próprias mencionadas no caderno de encargos, o qual pode estar representado em coordenadas geodésicas (latitude, longitude e altura ou altitude), planimétricas (E, N e altitude) ou cartesianas (X, Y, Z). Para outros tipos de alvos, como monumentos ou objectos pequenos, pode-se criar um sistema de referência próprio, local, de origem arbitrária.

Actualmente recorre-se às mais modernas tecnologias informáticas e todo o processamento é realizado em suporte digital, esta evolução comparativamente às técnicas analógicas permite uma maior celeridade na aquisição de dados geográficos, daí decorrendo também uma enorme redução de custos.

A fotogrametria pode ser dissociada em terrestre e aérea:

- A fotogrametria terrestre é usada de forma generalizada para documentar fachadas de edifícios, monumentos, etc.;
- A fotogrametria aérea é mais vocacionada para o conhecimento da superfície terrestre como na obtenção: de mapas topográficos, cartográficos e temáticos; modelos digitais de terreno; fotografias rectificadas (ortofotos); coordenadas de pontos requeridos etc., constituindo-se como suporte para vários estudos, nomeadamente, de planeamento e ordenamento, geológicos, ambientais, censitários, entre outros.

A associação dos métodos da fotogrametria ao trabalho topográfico, para representar a forma do terreno e coordenação de pontos (X, Y, Z) tem enormes vantagens das quais podem ser destacadas:

- O acesso a muita informação, toda aquela que pode ser interpretada na fotografia;
- O uso dessa mesma informação em qualquer altura, o levantamento fotogramétrico não está condicionado por diversos factores que podem condicionar o levantamento topográfico, como as condições atmosféricas;

- Permite cartografar pontos de difícil acesso que de outro modo seria quase impossível a sua representação;
- Dado que é feito em gabinete a obtenção de produtos é mais rápida e sem custos inerentes a deslocações da equipa ao terreno;
- Permite obter cartas temáticas e vários produtos subsequentes, como modelo digital do terreno, ortofotos etc.

Porem insere também algumas dificuldades e ou desvantagens como:

- A precisão da escala observada está directamente relacionada com a escala de voo, não permitindo interpretação mais refinada do que a permitida pela aquisição;
- A omissão de elementos que não são visíveis na fotografia devido a estes estarem ocultados por nuvens, arvores, projecção de edifícios entre outros elementos.

A actividade fotogramétrica com o propósito de obtenção de diversos produtos cartográficos nos quais está englobada a produção de ortofotomapas, desenrola-se em vários processos distintos: o voo fotogramétrico propriamente dito, que pressupõe um trabalho de preparação realizado previamente e o processo de aerotriangulação que consiste na transformação de uma mera imagem num suporte a variados produtos e utilizações cartográficas.

O planeamento do voo⁴ é a primeira operação no processo fotogramétrico. Este tem início com a análise prévia das especificações técnicas que constam no caderno de encargos da proposta de trabalho, nomeadamente, a área a cartografar, a escala e precisão da mesma e tipos de representação contratados, são os principais requisitos que condicionam todos os parâmetros do planeamento de voo.

Com o conhecimento desses requisitos é definido o tamanho do píxel em função do pormenor pretendido, posteriormente é calculada a altitude a que deve ser

⁴ Plano de Voo – Gráfico em escala conhecida, habitualmente desenhado sobre carta topográfica, com as indicações de localização e outras necessárias à execução da cobertura aerofotográfica

realizado o voo fotogramétrico tendo em conta a distância focal da câmara e a escala desejada.

3.2 Escala de Voo

De forma simplista uma escala é definida como sendo a relação constante entre o tamanho de uma imagem (i) e o tamanho real do objecto (o) que está a ser representado. Ou seja,

$$escala = \frac{imagem}{objecto} = \frac{i}{o} \quad (3.1)$$

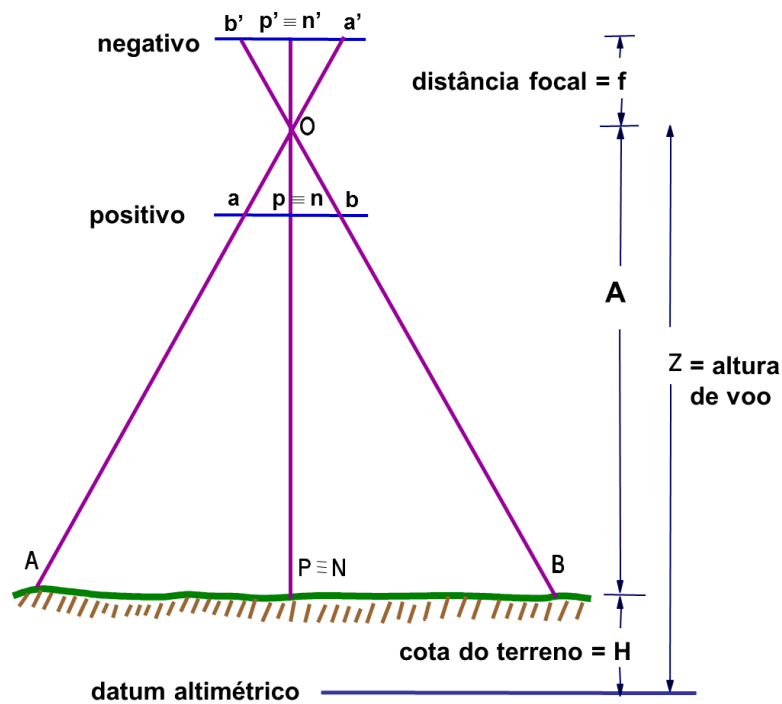
“Designa-se por escala de uma fotografia aérea, a relação entre um comprimento unitário horizontal no terreno e o comprimento correspondente na imagem” (Casaca et al., 2000). Porém existe uma variação de escala que ocorre ao longo da fotografia que resulta da dependência directa da variação altimétrica do terreno. Podemos dizer que a escala de uma fotografia é em função da variação do relevo do objecto e da inclinação da fotografia (Wolf, 1983).

Para uma fotografia vertical de um terreno plano, como mostra a Figura 3.1, a escala da fotografia será a razão entre a distância ab na fotografia, dos pontos imagem, e a distância AB dos respectivos pontos terreno. Esta expressão pode também ser escrita em função da distância focal da câmara (f^5) (f^5) e a altura de voo Z' (através da relação de semelhança dos triângulos Lab e LAB), ou seja:

$$\frac{f}{Z'} = \frac{ab}{AB} \quad (3.2)$$

Logo pode ser assumido, que no caso de uma fotografia vertical, a escala é directamente proporcional à distância focal da câmara (distância da imagem) e inversamente proporcional à altura de voo (distância do objecto) (Wolf, 1983).

⁵ Distância Focal – Distância medida sobre o eixo principal de uma lente, desde o seu centro óptico, ou ponto nodal, até ao plano focal.



**Figura 3.1 - Vista a duas dimensões de uma fotografia vertical de um terreno plano
(adaptado de Wolf, 1983).**

Porem quando a superfície do terreno é acidentada, ou seja, a quase totalidade dos casos, a escala da fotografia vertical varia, aumenta nas áreas com altitudes mais elevadas e baixa nas áreas mais planas, sendo nestes casos necessário considerar uma escala média.

Sabendo que as dimensões do terreno representado numa fotografia dependem da distância focal da câmara (f) e da altura média do voo (H), a função a assumir é a

$\frac{f}{Z - H}$ também explicitada no exemplo da Figura 3.2.

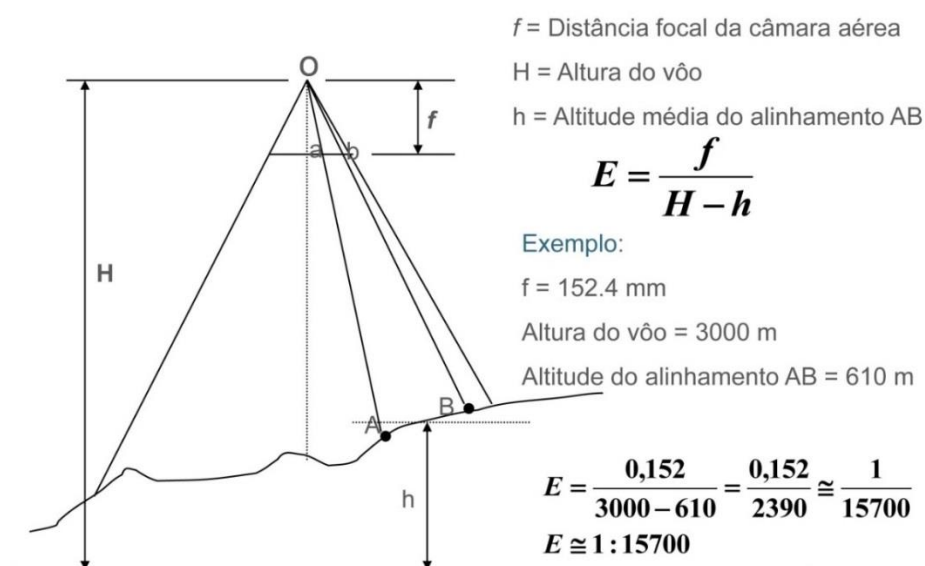


Figura 3.2 - Vista a duas dimensões de uma fotografia vertical de um terreno acidentado
(adaptado de Wolf, 1983)

3.3 Calibração Geométrica da Câmara

Sabendo que as dimensões do terreno representado numa fotografia dependem da distância focal da câmara e da altura média do voo e que as dimensões padrão dos negativos⁶ (na fotografia analógica) suportados pelas câmaras métricas têm a dimensão de 230mm x 230mm, apresentam-se na Tabela 3.1 as dimensões do terreno, captadas numa fotografia, de acordo com os diversos tipos de câmara, para um voo realizado à altura de 1000m.

Tabela 3.1 - Dimensões do terreno captado numa fotografia (adaptado de Casaca et al., 2000).

Tipo de câmara	Dimensão do terreno (km)	Escala no terreno
Super-Grande-Angular	2,7 X 2,7	1:12 000
Grande-Angular	1,5 X 1,5	1:6500
Intermédia	0,8 X 0,8	1:3300
Ângulo Estreito	0,4 X 0,4	1:1600

⁶ Negativo – Fotograma negativo em película.

As câmaras fotogramétricas vêm acompanhadas de um certificado de calibração, ou seja, um documento que atesta os valores exactos de determinados parâmetros fundamentais da câmara, que serão utilizados nos processos fotogramétricos posteriores, seguidamente passamos a observar detalhes técnicos sobre o procedimento de calibração e os modelos matemáticos utilizados, sendo que estes parâmetros de calibração são válidos apenas para a câmara DMC01-0129 com o número de série (*Serial Number, SN*): 01000084, que foi o equipamento usado na cobertura área utilizada para a componente prática deste relatório.

Modelo de calibração geométrica:

- Sistema de coordenadas imagem, é dado pela estrutura do sensor digital. A origem do sistema é no centro do píxel, topo esquerdo na imagem. O c-eixo positivo evolui da esquerda para a direita. O r-eixo positivo vai do topo para o fundo. A unidade de resolução deste sistema é o píxel, representações a vermelho na Figura 3.3.
- Sistema de coordenadas foto, tem origem no centro do píxel central da imagem. O eixo x positivo vai para a direita e o eixo y positivo vai até o topo. Este sistema tem uma unidade métrica (m,) representações a verde na Figura 3.3.

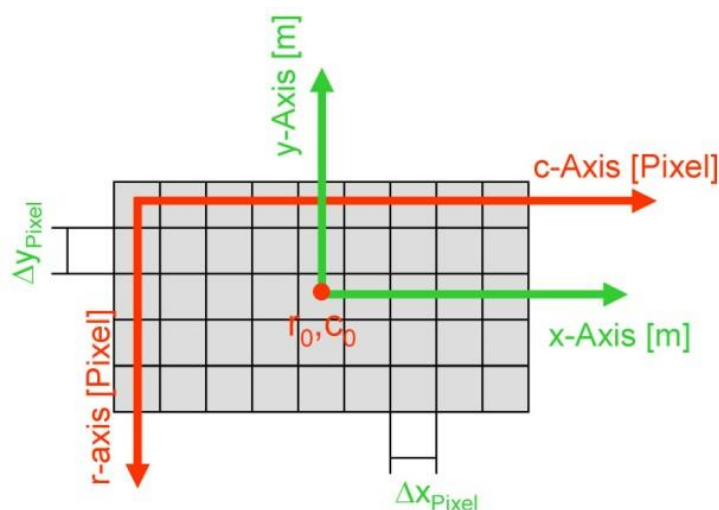


Figura 3.3 - Sistema de coordenadas imagem e Sistema de coordenadas foto (fonte: <http://leica-geosystems.com/products/airborne-systems/imaging-sensors>).

Transformação de sistema de coordenadas imagem para o sistema de coordenadas foto:

$$\begin{aligned} x &= -(r - r_0) \Delta y_{\text{pixel}} \\ y &= (c - c_0) \Delta x_{\text{pixel}} \end{aligned} \quad (3.3)$$

Distorção do Modelo:

$$\begin{bmatrix} \bar{x} \\ \bar{y} \\ \bar{z} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x - x_0 \\ y - y_0 \\ -f \end{bmatrix} \quad (3.4)$$

$$r = \sqrt{\bar{x}^2 + \bar{y}^2} \quad (3.5)$$

$$\begin{aligned} \Delta x &= \Delta x_0 - \frac{\bar{x}}{\bar{y}} \Delta f + \bar{x} (r^2 K_1 + r^4 K_2 + r^6 K_3) + (r^2 + 2\bar{x}^2) P_1 + 2\bar{x}\bar{y} P_2 + \bar{x} B_1 + \bar{y} B_2 \\ \Delta y &= \Delta y_0 - \frac{\bar{y}}{\bar{x}} \Delta f + \bar{y} (r^2 K_1 + r^4 K_2 + r^6 K_3) + 2\bar{x}\bar{y} P_1 + (r^2 + 2\bar{y}^2) P_2 \end{aligned} \quad (3.6)$$

As imagens virtuais DMC são calculadas a partir de 4 câmaras (pan) até 8 (pan + multiespectral). Durante a criação das imagens virtuais (mosaicos de imagem) a distorção da lente fica completamente eliminada. O resultado é uma imagem virtual, livre de distorções, rectificada para uma distância focal nominal de 120 mm (Dörstel, Jacobsen, Stallmann, 2003; Zeitler, Dörstel, Jacobsen, 2002).

A calibração da câmara não deve ser aplicada durante a compilação de dados, como as imagens virtuais têm comprimento focal nominal, são livre de distorções e não contêm marcas fiduciais.

A calibração geométrica DMC é realizada no laboratório Carl Zeiss Calibration. Os instrumentos utilizados são certificados pelo Deutscher Kalibrier Dienst com permissão da Physikalisch-Technische Bundesanstalt.

A *Digital Mapping Camera* (DMC) Intergraph (Figura 3.4) foi a primeira câmara aérea matricial de grande formato que surgiu no mercado, no ano 2000. É constituída por oito câmaras, quatro centrais e quatro periféricas.

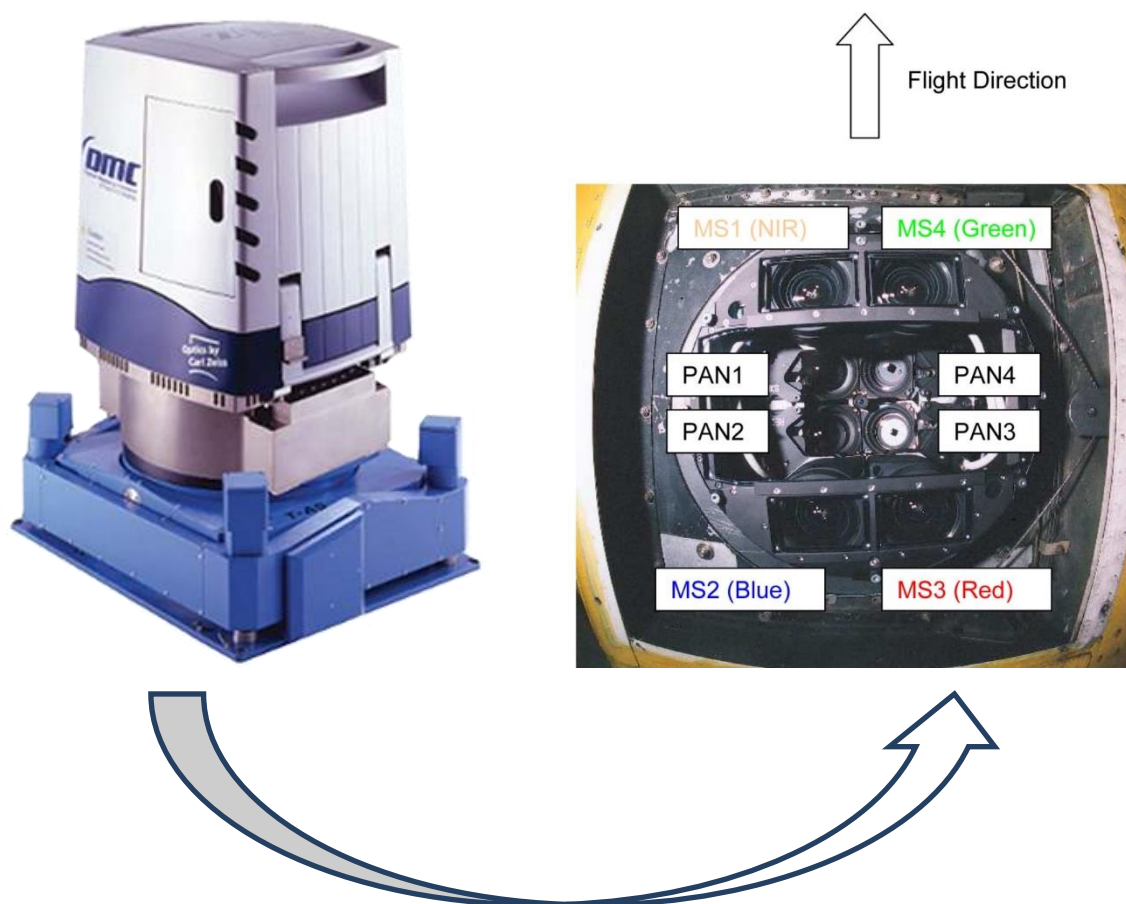


Figura 3.4 - Câmera aérea matricial de grande formato DMC01-0129 (fonte: <http://leica-geosystems.com/products/airborne-systems/imaging-sensors>).

As quatro câmaras centrais são as que possuem maior resolução e destinam-se à captura de imagens pancromáticas, as quatro câmaras periféricas captam separadamente as três cores fundamentais e o infravermelho próximo (Figura 3.5).

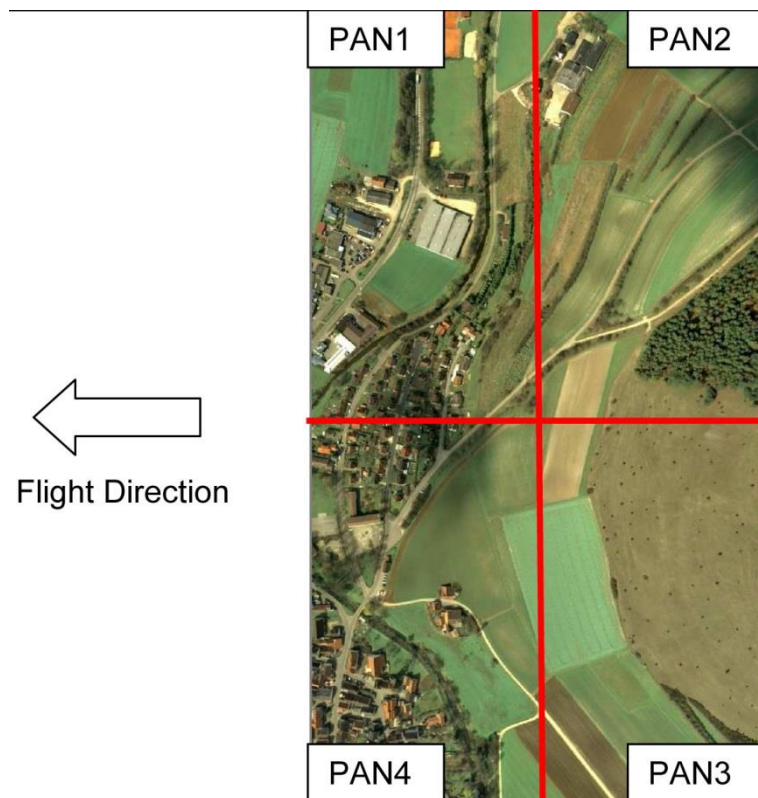


Figura 3.5 – Quatro câmaras centrais da DMC01-0129 (fonte: <http://leica-geosystems.com/products/airborne-systems/imaging-sensors>).

As principais características são as seguintes (Tabela 3.2).

Tabela 3.2 – Principais características da DMC01-0129 (fonte: <http://leica-geosystems.com/products/airborne-systems/imaging-sensors>).

Dimensão do pixel (µm)	Resolução radiométrica (bits)	Distancia focal (mm)	Dimensão do sensor (píxeis)	Tamanho das fotografias (KB)
• 12	• 12	• 120.000	• 13 824 x 7 680	• 417,823

Os parâmetros principais da generalidade das câmaras são:

- Tipo de Câmara e Tipo de Lentes – Possui informações sobre o nome do fabricante e modelo da câmara, bem como das lentes utilizadas;
- Distância Focal – Vem da Lei de Gauss, quando o par está devidamente posicionado, pode-se relacionar a distância focal (f), a distância imagem (i) e a distância objecto (o), segundo a equação:

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{i} + \frac{1}{o} \quad (3.7)$$

No caso de uma imagem capturada a grande distância, o valor de f é constante e igual à distância-imagem. Em geral, f assume valores nominais de 88 mm, 150 mm ou 300 mm;

- Ângulo de Abertura – Em geral, pode assumir quatro valores principais, a saber: ângulo estreito, ângulo normal, grande-angular e super-grande-angular. A Tabela 3.3, apresenta as principais características de cada tipo de câmara bem como os temas onde apresentam melhor desempenho.

Tabela 3.3 – Diversos tipos de câmara e suas características (adaptado de <http://leica-geosystems.com/products/airborne-systems/imaging-sensors>).

Tipo de câmara	Ângulo de abertura	Distância focal	Características de uso
Ângulo Estreito	$\alpha < 50^\circ$	55 £ f £ 100mm	- Para a mesma altitude de voo, capta menor área. -Voos muito altos para fins de reconhecimento ou mapeamento de áreas densas.
Ângulo Normal	$50^\circ \leq \alpha < 75^\circ$	152 £ f £ 210mm	-Realização de trabalhos cartográficos
Grande-Angular ⁷	$75^\circ \leq \alpha < 100^\circ$	305 £ f £ 610mm	-Para a mesma altitude de voo, capta maior área -Melhor para o relevo
Super-Grande-Angular	$\alpha \geq 100^\circ$		-Maior rentabilização -Escala grandes

⁷ Lente Grande Angular – Lente convergente, utilizada nas máquinas fotográficas com distância focal inferior à diagonal do Fotograma. O ângulo de abertura é de cerca de 94º na fotografia aérea métrica.

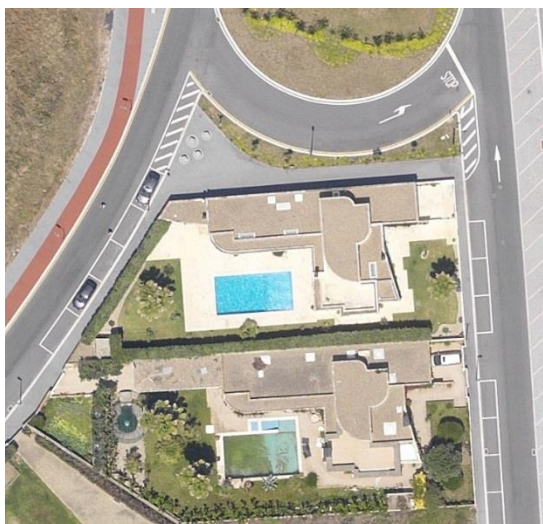
3.4 Escala de um Voo Digital

Os conceitos acima citados não são suficientes para os voos fotogramétricos digitais. Para as imagens digitais, é usado o conceito *Ground Sample Distance* (GSD). Este representa o tamanho real, em unidades de terreno, que um determinado *píxel*⁸ representa em função da resolução de uma imagem, sendo que *píxel* é oriundo do termo inglês *picture element*, que significa a menor unidade de uma imagem digital e consequentemente determina a sua resolução.

Uma imagem digital pode ser considerada uma matriz cujos índices de linha e coluna identificam um ponto na imagem e o correspondente valor do elemento da matriz, número digital (ND), identifica o nível de cinza naquele ponto, sendo este elemento designado por *píxel*.

Nos píxéis são armazenados valores que formam a imagem. Cada *píxel* que forma a imagem contem um valor ponderado de toda a energia reflectida correspondente à sua área no terreno, de acordo com o GSD usado. Para um GSD de 10 cm, esta área no terreno corresponde a um único *píxel* na imagem. Quanto menor for o GSD, maior será a resolução da imagem, ou seja, melhor será a definição dos objectos. A Figura 3.6 ilustra uma imagem com GSD de 0,10m, onde são bem nítidos, todos os pequenos detalhes. Com o aumento do tamanho do GSD ocorre a simplificação dos detalhes, nas representações com GSD de 0,20m e de 0,50m, a identificação dos elementos é mais difícil. Por fim na representação cujo GSD é de 1m, a definição dos elementos no terreno é quase impossível. Portanto o valor de GSD a ser utilizado para um determinado voo, deve ser calculado em função da precisão desejada nos produtos subsequentes.

⁸ Píxel – Elemento de imagem ou célula correspondente à unidade de área mínima resolúvel num ficheiro matricial.



GSD 0,10m



GSD 0,20m



GSD 0,50m



GSD 1m

Figura 3.6 – Imagem com diferentes valores de GSD.

A Tabela 3.4 exemplifica o GSD recomendado para a camara digital ADS40 em função das diversas escalas de mapeamento e também a comparação com os voos fotográficos analógicos.

Tabela 3.4 - Parâmetros para planejamento de voo (adaptado de <http://leica-geosystems.com/products/airborne-systems/imaging-sensors>).

Average GSD	Map Scale	Map Standard		Comparable film photographs	
With ADS40		x-y accuracy RMSE	Contour interval	Photo scale	Pixel size on ground of scanned film
5 - 10 cm	1:500	0.125 m	0.25 m	1:3 000/1:5 500	2.5 - 5 cm
10 - 15 cm	1:1000	0.25 m	0.5m	1:5 000/1:8 000	5 - 7.5 cm
20 - 30 cm	1:2 000	0.5 m	1 m	1:8 000/1:11 000	10 – 15 cm
30 - 50 cm	1:5 000	1.25 m	2.5 m	1:2 000 / 1:18 000	15 – 25 cm
40 – 60 cm	1:10 000	2.50 m	5 m	1:17 000/1:27 000	20 - 30 cm
50 – 70 cm	1:20 000	5 m	10 m	1:25 000/1:35 000	25 – 35 cm
50 – 80 cm	1:25 000	6.25 m	12.5 m	1:28 000/1:42 000	25 -40 cm
50 – 100 cm	1:50 000	12.5 m	20 m	1:40 000/1:60000	25 – 50 cm
50 – 100 cm	1:100 000	25 m	50 m	1:60 000/1:90 000	25 – 50 cm

O valor GSD está relacionado directamente com a altura da aeronave em relação ao solo, da distância focal da câmara usada e do tamanho físico do *píxel* no CCC (Figura 3.7).

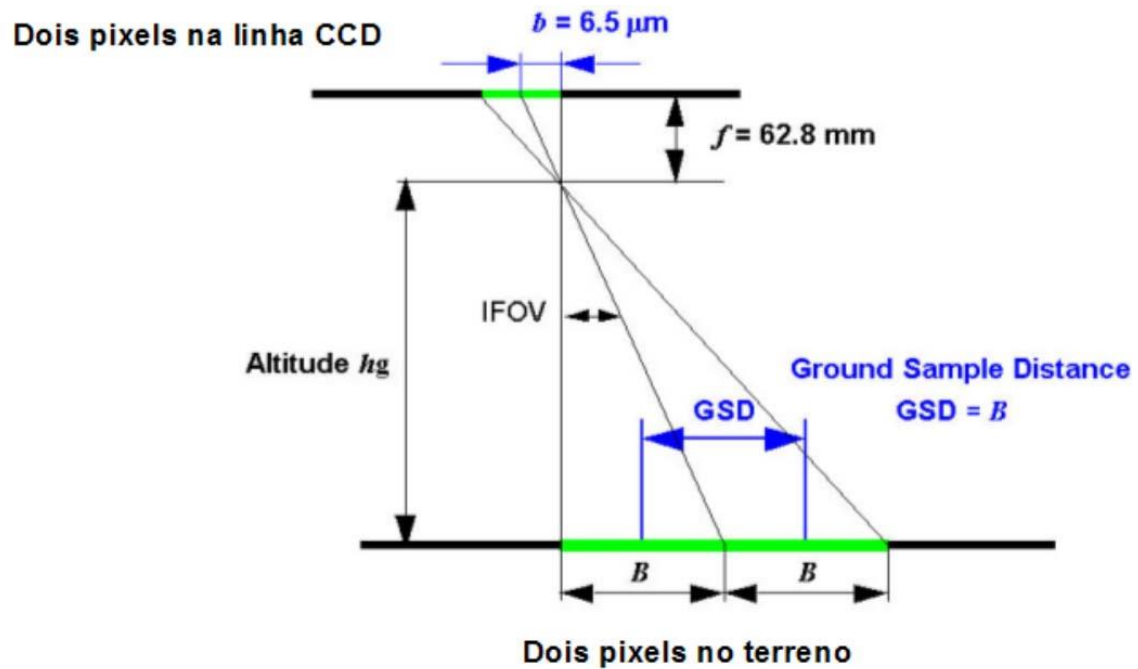


Figura 3.7 - Cálculo GSD (adaptado de <http://leica-geosystems.com/products/airborne-systems/imaging-sensors>).

Ao relacionar duas câmaras digitais com características diferentes podemos observar imagens com a mesma resolução, mas com o cálculo de escala da foto totalmente diferente (Figura 3.8).

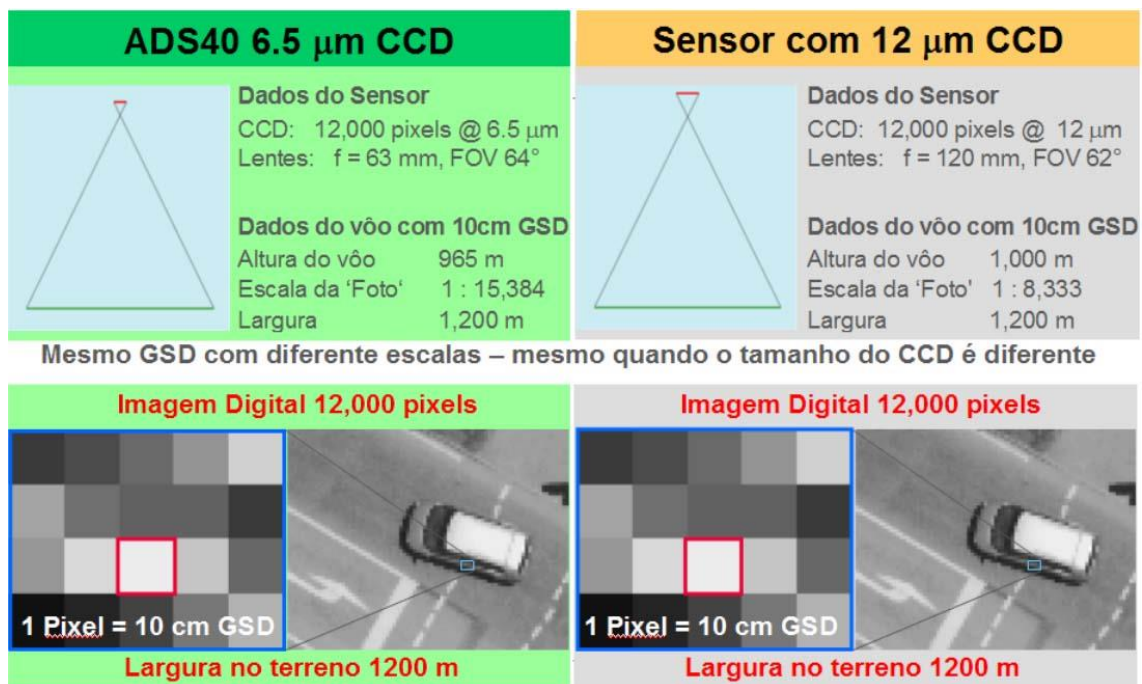


Figura 3.8 - Comparação de diferentes escalas de foto (adaptado de <http://leica-geosystems.com/products/airborne-systems/imaging-sensors>).

Apesar da escala calculada apresentar uma grande diferença, o GSD das imagens é o mesmo, logo a mesma qualidade.

É possível dividir as câmaras digitais em três categorias conforme (Cramer, 2004). As de pequeno formato são usualmente as de uso pessoal, até 6 megapixéis e capturam imagens de pequenas áreas. As de médio formato são geralmente usadas por fotógrafos em mapeamentos de pequenas áreas ou projectos de ambiente e possibilitam uma captura em torno de 15 megapixéis. E por fim, as de grande formato, são aquelas com 40 megapixéis ou mais de resolução, permitindo melhor mapeamento de grandes áreas, cobertura mais ampla do terreno e benefícios da tecnologia digital. Com a superação tecnológica praticamente diária, os nossos equipamentos pessoais, como os *smartphones*, possuem câmaras com resoluções elevadas.

O uso de um voo digital apresenta vários ganhos em relação ao analógico, tais como: a eliminação de deformações do filme; problemas no processo de revelação; interferências mecânicas e ópticas dos *scanners* durante o processo de rasterização e sobretudo permite o acesso ao formato nativo de recolha que permite uma total manipulação dos histogramas das várias bandas que constituem a imagem.

3.5 Planeamento de Voo

Como já foi aludido, o planeamento de voo é a primeira operação no processo fotogramétrico. O sucesso da cobertura fotográfica⁹ vai ser reflectida nos custos das operações que se seguem e na qualidade do produto final.

Segundo a orientação do eixo óptico da câmara, as fotografias aéreas classificam-se como: oblíquas altas (com o horizonte na foto), oblíquas baixas (sem o horizonte na foto) e verticais (Figura 3.9).



Figura 3.9 – Diversas classificações de fotografia aérea.

Na grande maioria das coberturas fotográficas recorre-se a fotografias verticais (referindo-se, a verticalidade, à posição do eixo óptico da câmara na tomada de vista). Entendem-se por fotografias aéreas verticais aquelas em que o ângulo entre o eixo óptico e a vertical de lugar é inferior a 3º.

A escolha da escala influencia os custos do projecto tanto no trabalho de campo como em gabinete. No caso de grandes escalas, que são pretendidas para trabalhos muito exigentes onde todos os detalhes são fundamentais, estas obrigam ao aumento do número de fotografias capturadas, menor área coberta (implicitamente

⁹ Cobertura Fotográfica – Conjunto de fotografias, organizadas em fiadas, que cobre uma região, obedecendo a critérios constantes de um plano de voo.

maior número de fiadas a percorrer), aquisição e cálculo de um maior número de pontos de apoio e um trabalho de gabinete mais moroso a nível de restituição e de processamento, consequentemente maiores custos e projectos mais longos.

Estabelecidas as dimensões da foto, é necessário planear a área de cobertura estabelecendo as sobreposições laterais e longitudinais adequadas às exigências do terreno. As fotografias aéreas verticais são capturadas normalmente com uma sobreposição¹⁰ de 60% entre fotos consecutivas (sobreposição longitudinal), a sobreposição lateral varia entre os 15 a 50% (Figura 3.10).

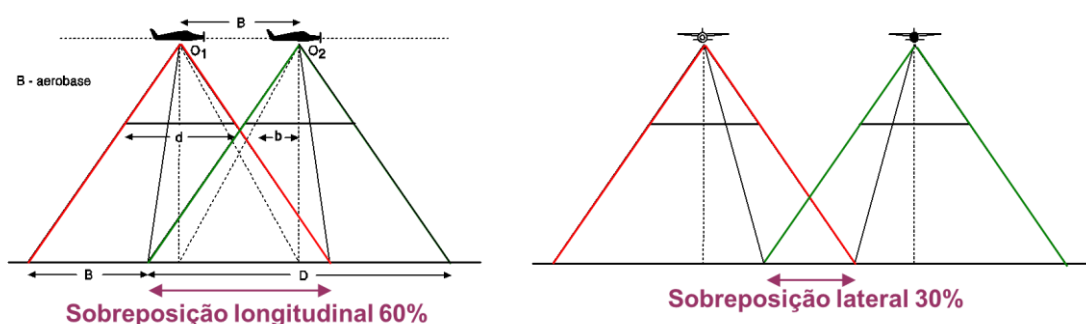


Figura 3.10 - Sobreposição longitudinal e sobreposição lateral (adaptado de Lillesand, Kiefer, 2000).

No entanto estas condições são exequíveis apenas a áreas maioritariamente planas, não se verificando os mesmos valores para áreas de relevo mais acidentado, onde a área de sobreposição tem que ser maior de modo a garantir uma visão estereoscópica.

Em terreno acidentado o procedimento normal consiste em aumentar as margens de sobreposição com o objectivo de compensar possíveis diminuições de sobreposição devido ao deslocamento originado pelo relevo. O deslocamento e as oscilações altimétricas do avião também são factores que podem levar à necessidade

¹⁰ Sobreposição Fotográfica – Área fotográfica expressa em percentagem das dimensões lineares das fotografias, comum a mais que uma fotografia. Se a sobreposição é de fotografias da mesma fiada designa-se por longitudinal ou frontal; se é entre fotografias de fiadas adjacentes, designa-se de lateral.

de alterar os valores adoptados como normais de sobreposição, de forma a evitar lacunas.

O traçado de voo é delineado tendo em conta factores como: o tipo de relevo, a área e a geometria do terreno. O número de fiadas¹¹ necessário a percorrer pelo avião durante a cobertura fotogramétrica será determinante no tipo de traçado de voo. As áreas mais extensas e de geometria rectangular são as mais fáceis de abordar, sendo também as mais comuns. Neste caso o avião deverá seguir uma rota que permita sobrevoar a área em traçados paralelos (Figura 3.11.). Em áreas de extensão semelhante, mas com relevo acidentado a abordagem é ligeiramente diferente. O princípio para estabelecer o tipo de rota a percorrer pelo avião é exactamente igual ao caso anterior, a diferença depreende-se com a área a levantar. É que, neste último caso, a área será subdividida em novos rectângulos e com orientações diferentes para que se consiga estabelecer pares estereoscópicos.

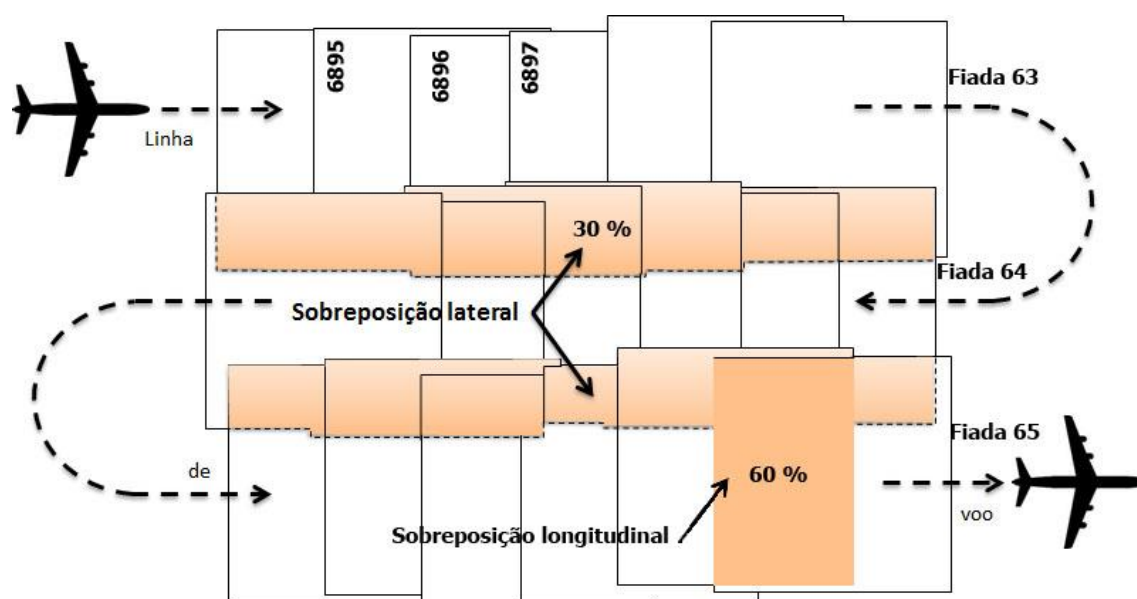


Figura 3.11 - Modelo de Plano de Voo (adaptado de Lillesand, Kiefer, 2000).

Para situações em que a área de levantamento seja reduzida e apenas ao longo de uma faixa estreita também designada corredor (linha de costa, rede viária, rede

¹¹ Fiada de Voo – Conjunto de fotografias aéreas obtidas na mesma linha de voo e num mesmo sentido, com continuidade no terreno fotografado, havendo sobreposição entre fotografias consecutivas.

ferroviária) o voo terá de ser efectuado por vários troços rectilíneos e com orientações diversas (Figura 3.12).

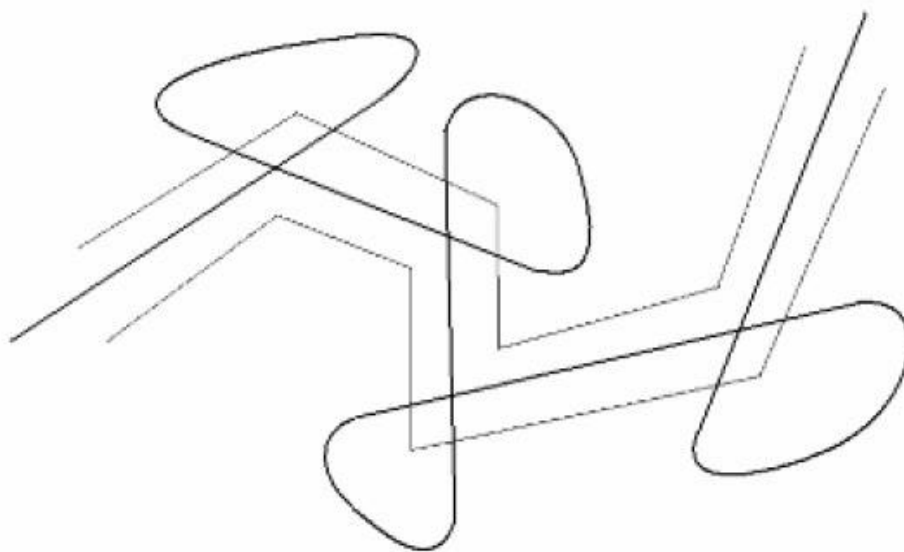


Figura 3.12 - Traçado de voo para uma faixa estreita de terreno.

Concluído o planeamento de voo é necessário estimar uma data para a realização do mesmo. Para tal é necessário ter em conta os diversos factores climatéricos, época do ano e fase do dia. Começando pelas características climatéricas, quando se decide voar é necessário que a cobertura de nuvens nunca seja superior a 10%. É necessário ter este factor em conta independentemente da altitude de voo, visto que, mesmo a baixa altitude as sombras provocadas pelas nuvens podem trazer efeitos indesejados nas fotografias em pós-processamento. É importante também que a altura do sol seja superior a 30 graus, para que haja uma maior ausência de sombras e uma boa distribuição da luminosidade.

O voo normalmente é efectuado a meio do dia quando o sol está na sua altitude máxima acima do horizonte, actualmente o uso de máquinas fotográficas digitais pode melhorar a imagem nas áreas mais obscurecidas. Por fim, e não menos importante, é imprescindível ter em conta a época do ano. Preferencialmente os voos devem ser efectuados no início da Primavera ou então no fim do Outono, para que a visibilidade da ocupação do solo não seja obstruída pela vegetação densa que se faz sentir noutras estações do ano.

Em Portugal, as coberturas aerofotográficas estão sujeitas ao regime estabelecido pelo Regulamento Técnico das Coberturas Aerofotográficas para fins civis (RTCAP2006), publicado no sítio <http://www.dgterritorio.pt/>. Actualmente assiste-se à proliferação de coberturas adquiridas com recurso a aeronaves civis não tripuladas (*unmanned aerial vehicle*, (UAV), no entanto a legislação referente a esta abordagem ainda é bastante recente (ver anexo).

3.6 Pontos Fotogramétricos

O apoio fotogramétrico¹², que compreende trabalhos de campo e de gabinete, tem por finalidade determinar a posição planimétrica e altimétrica dos pontos de apoio, vulgo pontos fotogramétricos (PF), indispensáveis à triangulação aérea, à restituição fotogramétrica e à ortorectificação.

Os PF consistem numa pré-sinalização de marcas de fácil identificação na fotografia aérea assim como no terreno (Figura 3.13). Estes pontos serão usados posteriormente como apoio à triangulação aérea. A correspondência entre o ponto imagem e o ponto objecto é essencial para a precisão da determinação da orientação externa da foto bem como a orientação absoluta do modelo estereoscópico.

A coordenação altimétrica e planimétrica dos PF, em campo, é feita através das técnicas topográficas ou espaciais apropriadas à precisão que se pretende alcançar, dependendo da escala a que se destinam os produtos subsequentes.

O número de pontos de apoio a levantar é um pouco subjectivo, dependo tipo de terreno, da escala do trabalho e da finalidade do mesmo, contudo, existe um mínimo teórico para efectuar a orientação de um par estereoscópico, três pontos não colineares e apoiados em mais que uma fotografia simultânea de modo a garantir a ligação de modelos e de blocos homólogos, favorecendo assim a estabilidade da geometria do bloco.

¹² Rede de Apoio Fotogramétrico – Conjunto de pontos coordenados no terreno que servem de referência aos trabalhos de Triangulação Aérea.

Um conjunto de PF é usualmente coordenado por poligonais¹³ ou por GPS¹⁴, sendo as cotas obtidas por nivelamento trigonométrico ou geométrico.

 estereofoto Geoengenharia S. A.	Apoio Fotogramétrico Cartografia Vectorial e Ortos Esc: 1:2 000 Concelho de Albufeira
---	--

Ponto ID <div style="background-color: white; color: black; padding: 2px; display: inline-block;">621</div>	<table style="width: 100%;"> <tr> <th style="text-align: left;">Coordenadas</th> <th></th> </tr> <tr> <td>M=</td> <td style="text-align: right;">-10926.47</td> </tr> <tr> <td>P=</td> <td style="text-align: right;">-286255.52</td> </tr> <tr> <td>Cota=</td> <td style="text-align: right;">34.102</td> </tr> </table>	Coordenadas		M=	-10926.47	P=	-286255.52	Cota=	34.102	
Coordenadas										
M=	-10926.47									
P=	-286255.52									
Cota=	34.102									
Localização do Vertice										
										
Descrição: Esquina de lancil; Cota no sinal; Altura do lancil 0.07m										

Data da Cobertura Fotográfica	29 Junho 2015	Out 2015
Escala Média do Voo	12cm	Operador

Figura 3.13 – Ficha técnica de um ponto fotogramétrico.

¹³ Poligonação - Método topográfico de determinação de coordenadas de pontos no terreno, baseado na observação de distâncias e direcções.

¹⁴-GPS – Sigla que significa *Global Positioning System*, isto é, Sistema de Posicionamento Global. É um sistema mundial de navegação e posicionamento, baseado numa constelação de satélites, operado pelo Departamento de Defesa dos Estados Unidos da América.

Contando com os erros que possam existir na rede geodésica¹⁵ de apoio ou dos erros associados à transposição de coordenadas (erros sistemáticos), exige-se que a precisão para a restituição numérica (analítica, digital) seja dada por:

Em planimetria:

Considera-se que o erro de identificação do PF na foto se situa entre $5\mu m$ e $10\mu m$.

$5 \times 10 - 4 \times M \leq sp(cm) \leq 10 - 3 \times M$, sendo M o módulo da escala da fotografia;

Em altimetria:

$s \leq h \times 10 - 4z$ (nas mesmas unidades em que entra o h), sendo h a altura de voo acima do terreno.

A Tabela 3.5, apresenta os valores de precisão normativos para as coordenadas cartográficas dos PF, em função da escala da carta, do método de restituição e da objectiva utilizada.

Tabela 3.5 – Valores de precisão normativos para as coordenadas cartográficas dos PF
(adaptado de <http://www.dgterritorio.pt/static/repository/>).

		Escala da Carta / Escala do Voo	1: 1 000 / 1:4 500	1:2 000 / 1:7 500	1:5 000 / 1:15 000	1:10 000 / 1:22 500
Apoio Fotogramétrico	Planimetria	$EMQ_M \leq$	0,05	0,08	0,25	0,40
		99% dos pontos da amostra têm de apresentar um desvio em $M < 2.576 \cdot EMQ_M$	0,13	0,21	0,60	1,25
		$EMQ_P \leq$	0,05	0,08	0,25	0,40
		99% dos pontos da amostra têm de apresentar um desvio em $P < 2.576 \cdot EMQ_P$	0,13	0,21	0,60	1,25
		Se $r = \sqrt{EMQ_M^2 + EMQ_P^2}$ então $EMQ_r \leq$	0,07	0,11	0,35	0,60
		99% dos pontos da amostra têm de apresentar um desvio em $r < \left(\frac{3.035}{\sqrt{2}}\right) \cdot EMQ_r$	0,15	0,24	0,75	1,50
	Altimetria	$EMQ_Z \leq$	0,10	0,14	0,35	0,60
		99% dos pontos da amostra têm de apresentar um desvio em $Z < 2.576 \cdot EMQ_Z$	0,26	0,36	0,90	1,50

¹⁵ Rede Geodésica Nacional – Conjunto de todos os vértices geodésicos e das suas relações geométricas, distribuídos pelo país, colocados em posições dominantes de forma a garantir intervisibilidade, devidamente coordenados. Estão monumentalizados através de diversas formas geométricas, como pirâmides ou troncos de cone sobre cilindros (bolembreanas) ou são coincidentes com estruturas já existentes.

Ao programar um levantamento de PF é importante dar especial atenção a dois aspectos: a boa identificação do ponto no terreno bem como a sua acessibilidade, logo um trabalho de preparação em gabinete realizado de forma rigorosa ajuda ao sucesso do trabalho de campo. Os melhores locais para a recolha de PF são pormenores no solo, de preferência geometricamente bem definidos, como apresentado na Figura 3.13. Exemplos de bons pontos podem ser esquinas de passeios, cantos de zebras para peões, cruzamento de eixos de via, de preferência objectos isolados.

Não obstante o cuidado no planeamento do levantamento de pontos de apoio, na deslocação ao terreno, acabam por surgir imprevistos, por exemplo: a destruição do ponto devido a obras, inacessibilidade ao ponto devido a qualquer constrangimento, situações que impedem a leitura do ponto planeado, nessas situações o operador deve estar preparado para optar por outro ponto no local.

3.7 Estereoscopia

Termo que designa a capacidade humana de detectar alterações nos ângulos paralácticos e determinar assim diferenças em profundidade, ver aquilo que o rodeia a três dimensões (3D), sendo que a profundidade é dada pela diferença de ângulos com que as imagens são percebidas. Ou seja, a terceira dimensão ou percepção de profundidade, resulta do facto de se captarem imagens do mesmo objecto, simultaneamente de dois ângulos diferentes. De facto, através dos nossos dois olhos, captam-se duas imagens ligeiramente diferentes de cada objecto e essas imagens fundem-se no cérebro numa única imagem tridimensional, produzindo a visão binocular natural.

Ao observar uma base fotográfica¹⁶ (três fotos sucessivas), recolhidas a partir de pontos diferentes (Figura 3.14), com cerca de 60% de sobreposição longitudinal entre si, quando observadas simultaneamente obtém-se uma visão 3D das mesmas,

¹⁶ Base Fotográfica – Distância entre os dois centros de prolação de dois fotogramas que formam um par estereoscópico, medida à escala média da fotografia.

dado que, ao observar cada uma por um dos olhos do observador, geram paralaxe estereoscópica que transmite a noção de profundidade entre pontos de observação e proporciona a percepção das três dimensões do terreno (relevo), permitindo deste modo realizar medições rigorosas.

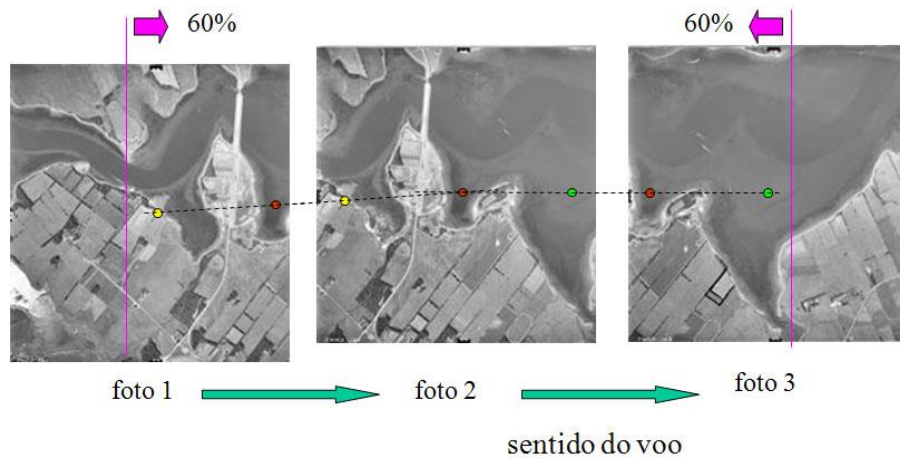
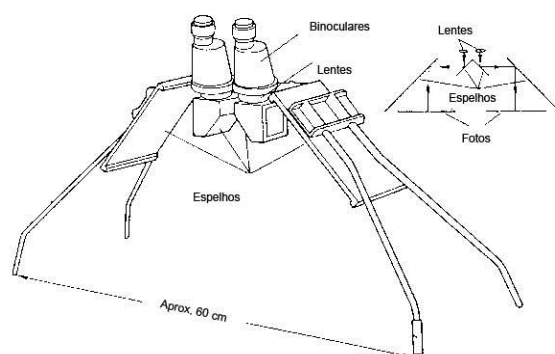


Figura 3.14 - Exemplificação de dois pares estereoscópico (adaptado de Lillesand, Kiefer, 2000).

O conjunto das duas imagens constitui o que se chama um “par-estereoscópico” e através de equipamento específico, estereoscópio, ilustração b da Figura 3.15, este leva cada um dos nossos olhos a observar uma imagem em separado, é então possível reconstruir a terceira dimensão no nosso cérebro. Estes conceitos podem ser mais facilmente compreendidos ao observar a ilustração a da mesma imagem.



a)



b)

Figura 3.15 – Ilustração de um par estereoscópio (a) e Ilustração de um estereoscópio (b) (adaptado de Lillesand, Kiefer, 2000).

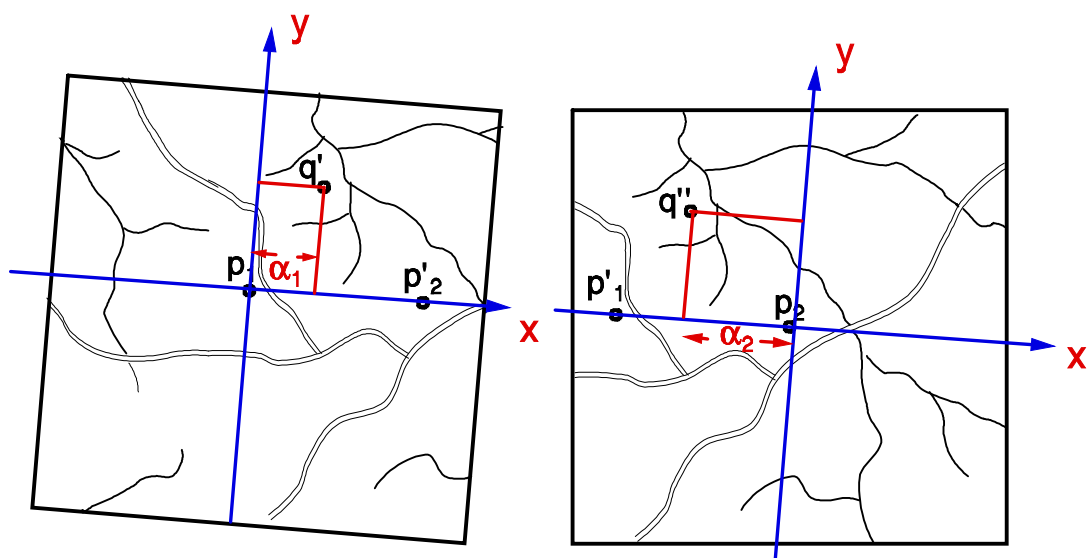
3.8 Paralaxe

Designa-se por paralaxe ao aparente desfasamento da posição de um objecto relativamente a um certo referencial, quando observado de locais distintos de um ponto imagem em duas fotos adjacentes. Pela medição desse desvio relativo aparente é possível estimar a diferença de altitude entre dois pontos, como ilustra a Figura 3.16, sendo:

$$p_{xq} = |\alpha_1 - \alpha_2| = f \frac{B}{A_q} \quad (3.8)$$

p_{xq} – paralaxe do ponto q

A_q – altura de voo em relação ao ponto q



paralaxe estereoscópica

$$p_x = |\alpha_1 - \alpha_2|$$

Figura 3.16 – Representação de paralaxe estereoscópica (adaptado de Lillesand, Kiefer, 2000).

É condição necessária para uma boa visão estereoscópica, que as linhas que ligam os pontos homólogos sejam paralelas à linha de voo, ou seja, não haja paralaxe em y . Conhecendo as coordenadas dos pontos a e b , nas duas imagens, paralelamente à linha de voo, pode-se estabelecer uma relação, definida pela primeira equação da paralaxe: $p_{xq} = \alpha_1 - \alpha_2$

A reconstrução geométrica, Figura 3.17, ilustra o porquê da natureza da paralaxe e sua consequente mudança de posição dos pontos observados em relação ao referencial.

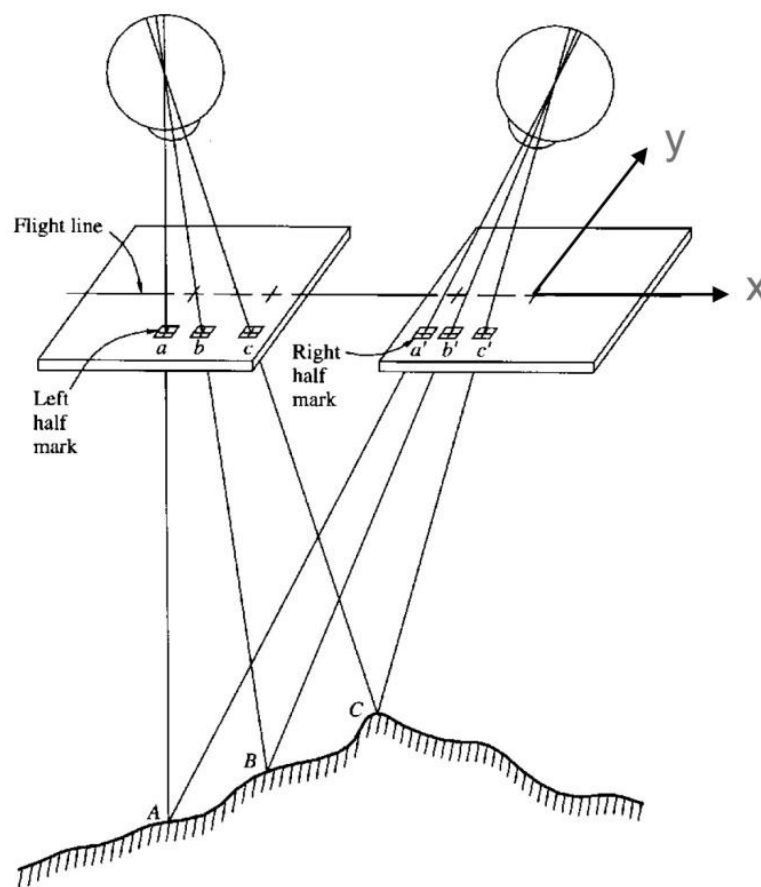


Figura 3.17 - Desfasamento devido à paralaxe em fotografias verticais (adaptado de Lillesand, Kiefer, 2000)

4 Imagem Digital

4.1 Introdução

Uma imagem digital consiste numa matriz bidimensional composta por células quadradas, onde cada célula representa o elemento mínimo da imagem, denominado (*picture elements*) píxel. Cada píxel contém apenas uma cor sólida, designada por número digital (ND). Ao ampliar sucessivamente a imagem, os pixéis ficam mais evidentes.

A qualidade de uma imagem, que em Processamento Digital de Imagem (PDI) constitui o factor essencial de trabalho, está directamente relacionada com o número de píxel em ambas as dimensões (x, y) da matriz e com a gama dinâmica de níveis de cinzento da imagem. Estes dois aspectos representam a resolução da imagem, que se pode definir como a capacidade de uma imagem digital discriminar o detalhe da cena visualizada (Baxes, 1994).

Pode-se, assim, definir qualquer imagem digital por uma matriz, tendo por valor de cada um dos elementos o número digital equivalente. Isso fica explicitado de forma mais clara na Figura 4.1.



Figura 4.1 – Representação do número digital

4.2 Resoluções das Imagens Fotogramétricas Digitais

Resolução de imagem descreve o nível de detalhe que uma imagem comporta, maior resolução traduz mais detalhe na imagem. O termo é comum às imagens fotogramétricas analógicas e digitais.

Cada imagem possui quatro parâmetros de avaliação da capacidade de aquisição de dados, estes parâmetros são denominados: resolução espacial, resolução radiométrica, resolução espectral e resolução temporal.

A resolução espacial¹⁷ é determinada pela área da superfície terrestre observada num dado instante por um sensor. Está directamente relacionada com a capacidade de distinguir objectos tão pequenos quanto o sensor o permita, refere-se ao tamanho que cada píxel representa na realidade (ver capítulo escala de voo). Quanto menor for o tamanho real do píxel maior será a resolução espacial da imagem o que significa uma maior capacidade para distinguir os objectos existentes à superfície da terra.

A resolução espectral¹⁸ é definida pelo número de bandas do espectro electromagnético captadas e que compõem a imagem (ver espectro visível da luz). Quando a energia solar atinge a superfície terrestre, a parte desta energia que não é absorvida é reflectida/emitada através de ondas, que são captadas por cada sensor consoante o intervalo de emissão. Vejamos o exemplo para as bandas: azul, verde, vermelho e infravermelho próximo, que compõe uma imagem usada no caso de estudo:

- Banda 1 (azul), apresenta grande penetração em planos de água, sendo particularmente interessante para estudos batimétricos, determinar as correntes, mapeamento dos limites aquíferos, porém pode induzir em erro na presença de fumos oriundos de queimadas ou de actividade industrial;
- Banda 2 (verde), é muito sensível à presença de sedimentos em suspensão na água, sendo muito usada para estudos de qualidade da água e mapeamento de correntes. Boa para mapeamento da vegetação e percepção de áreas onde ocorreram actividades antrópicas;
- Banda 3 (vermelho), expõe um bom contraste entre áreas cobertas com vegetação e solo exposto. É a banda geralmente usada para delimitação de

¹⁷ -Resolução Espacial – Área do terreno correspondente a um elemento de imagem, numa representação cartográfica.

¹⁸ -Resolução Espetral – Número de bandas espectrais que compõem uma imagem.

manchas urbanas e traçados da rede viária. É também adequada para a elaboração de mapas do uso do solo;

- Banda 4 (infravermelho próximo), apresenta bom contraste entre o solo e os planos de água. É também sensível a morfologia do terreno, sendo usada para mapeamento da geologia e geomorfologia. Permite discriminar os diversos tipos de vegetação sendo por isso por exemplo a banda usada pelos serviços do Ministério da Agricultura para calcular os subsídios a atribuir consoante o tipo de cultura praticado em dada parcela.

A conjugação das várias bandas entre si possibilita calcular vários índices, nomeadamente de vegetação, de forma a estimar, o Índice de Área Foliar, a concentração de clorofila na vegetação, a produtividade da vegetação e a fracção de solo ocupada pelo coberto vegetal.

A resolução radiométrica¹⁹ está relacionada com a capacidade para discriminar as possíveis incidências de energia. Por exemplo um registo com apenas dois tons: preto e branco, tem uma resolução radiométrica menor que um registo que contenha várias *nuances* de cinza dentro da mesma faixa de exposição.

Cada píxel possui um atributo que indica o seu nível de cinza *digital number* (DN), que varia do preto ao branco, de 0 a 255. O nível de cinza representa a intensidade da energia electromagnética (reflectida/emitada) média, medida pelo sensor para a área da superfície terrestre correspondente ao tamanho do píxel. Cada sensor possui um limite de tons de cinza que consegue captar e armazenar, este limite é medido em bits. Dado que os computadores utilizados possuem um sistema binário, o número de tons de cinza que o sensor conseguirá captar será igual ao sistema elevado ao número de bits.

Sendo o píxel, o elemento menor da imagem, possui três componentes, duas espaciais e uma radiométrica. As componentes espaciais indicam os valores da linha e coluna para o respectivo posicionamento, a componente radiométrica representa o

¹⁹ Resolução Radiométrica – Quantidade de níveis cromáticos perceptíveis numa imagem.

valor do brilho assumido pelo píxel. O número de valores do brilho, níveis de cinza ou cor, que cada píxel de uma imagem pode assumir, depende do número de bits dessa imagem.

Um *bit* corresponde a um dígito binário, podendo assumir dois valores: 0 ou 1. No entanto uma sequência de bits pode assumir muitos mais valores, dependendo do número de bits utilizado nessa sequência. Esse número de valores pode ser expresso por:

$$2^n \quad (3.9)$$

Onde: n = Número de bits na sequência.

A cada valor assumido por um píxel, pode ser associado uma cor, ou uma tonalidade (Tabela 4.1), termo usualmente utilizados para imagens em branco e preto, associando esses valores ao nível de cinza correspondente.

Tabela 4.1 - Relação entre o número de *bits* e o número de cores de uma imagem (adaptado de Jensen, 2007)

Imagem	Expressão	Nº de cores
1 bit	2^1	2
2 bits	2^2	4
8 bits (1 byte)	2^8	256
16 bits	2^{16}	65.356
24 bits	2^{24}	16.777.216

É necessário salientar, que apesar de possibilitar uma representação mais fiel das feições reais, nem sempre uma imagem digital que contenha um maior número de bits, se traduza numa melhor solução. Por exemplo, imagens compostas por píxeis de 8 bits, requerem três vezes menos memória do sistema computacional, do que imagens compostas por píxeis de 24 bits. A solução mais adequada irá depender do compromisso da qualidade visual, mas também dos recursos disponíveis para processamento e armazenamento, assim como não menos importante, das especificações técnicas reportadas no caderno de encargos (CE).

A resolução temporal determina a frequência que um sistema de detecção remota regista uma imagem de determinada área Figura 4.2.

Pode-se então depreender que um satélite que adquira imagens de 17 em 17 dias de uma determinada região, terá uma resolução temporal maior que uma serie de voos fotogramétricos que cobrem a mesma área e que considerem uma actualização anual.

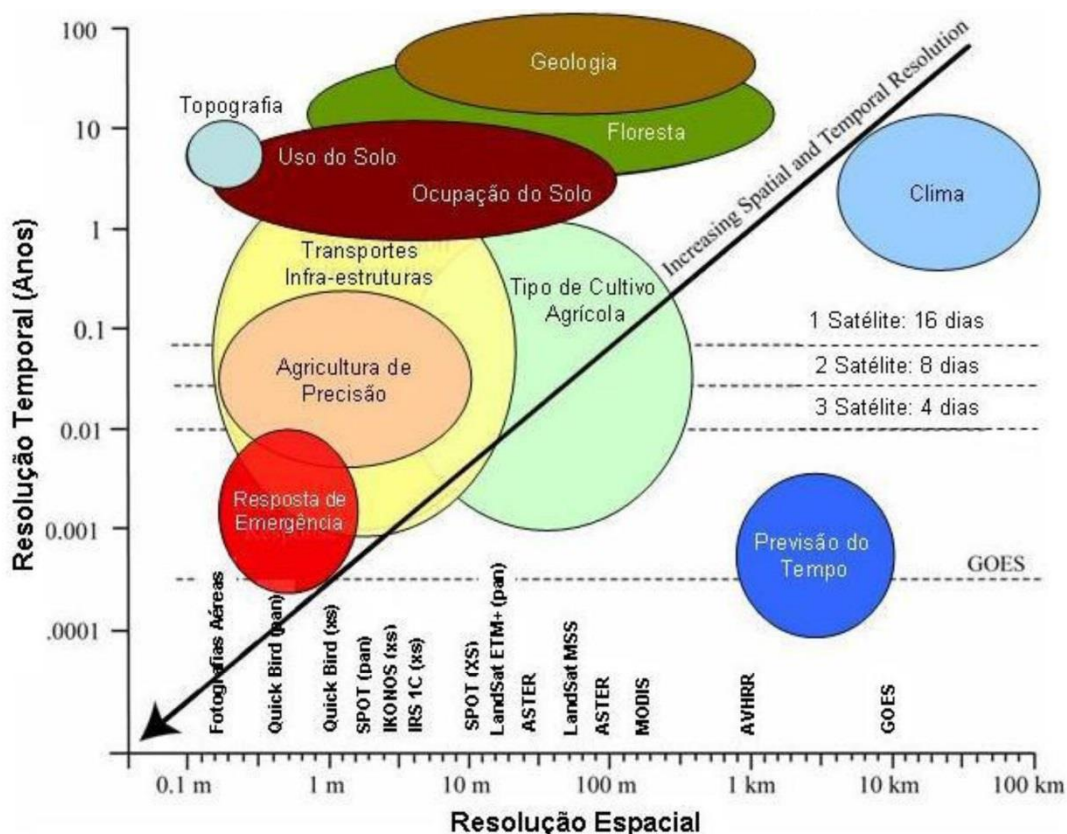


Figura 4.2 – Aplicabilidade dos vários satélites em função das resoluções temporal e espacial (adaptado de Jensen, 2007).

4.3 Problemas Resultantes da Aquisição de Imagem

4.3.1 *Aberrações geométricas*

Estas ditas aberrações são devidas ao formato das lentes que compõem o sistema de lentes da camara e deterioram a qualidade da imagem em termos de níveis de intensidade: esférica, coma, astigmatismo e distorção.

- Aberração esférica, é devida à curvatura da superfície da lente e afecta a captação de objectos situados no eixo óptico, resultando numa falta de nitidez, redução de contraste e pior observação de detalhes. Esta anomalia é corrigida pelo próprio sistema de lentes e suas combinações;
- Coma, é devida à forma da lente e afecta a captação de objectos situados fora do eixo óptico (raios oblíquos). É corrigida limitando a abertura do diafragma;
- Astigmatismo, produz a partir de um ponto objecto, imagens definidas por linhas rectas perpendiculares entre si, contribuindo para a diminuição da qualidade da imagem. É reduzido ao centrar o foco no círculo de confusão mínima, onde o astigmatismo é minimizado;
- Distorção, afecta a posição dos objectos capturados e não a qualidade da imagem. Há dois tipos de distorção: radial simétrica e descentrada. A distorção radial simétrica é devida à refração sofrida por um raio de luz ao atravessar a lente e afecta em geral os pontos da imagem a partir do ponto principal de simetria. A distorção descentrada é causada pelo desalinhamento dos eixos ópticos dos componentes da objectiva da camara. Ambas são ajustadas por equações matemáticas, cujos coeficientes são obtidos através do certificado de calibração da câmara.

4.3.2 *Aberrações cromáticas*

Este tipo de efeito advém do facto da luz se decompor em diversos comprimentos de onda ao passar por um sistema de lentes, de modo semelhante a um prisma. A sua distribuição é homogénea para toda a imagem e corrige-se combinando duas lentes opostas e índices de refração diferentes.

4.3.3 Distribuição da luz no plano focal

A luz que chega ao plano focal e que vai incidir num ponto situado na periferia do mesmo, tem uma intensidade proporcional ao factor $E_0 \cos^4 \theta$, Figura 4.3, onde E_0 , traduz a intensidade no eixo focal do plano. A consequência visível desta deformidade é o escurecimento das áreas mais periféricas da imagem com maior incidência nos cantos (Figura 4.4). Actualmente o uso de alguns filtros em pós-processamento elimina de forma bastante satisfatória este efeito.

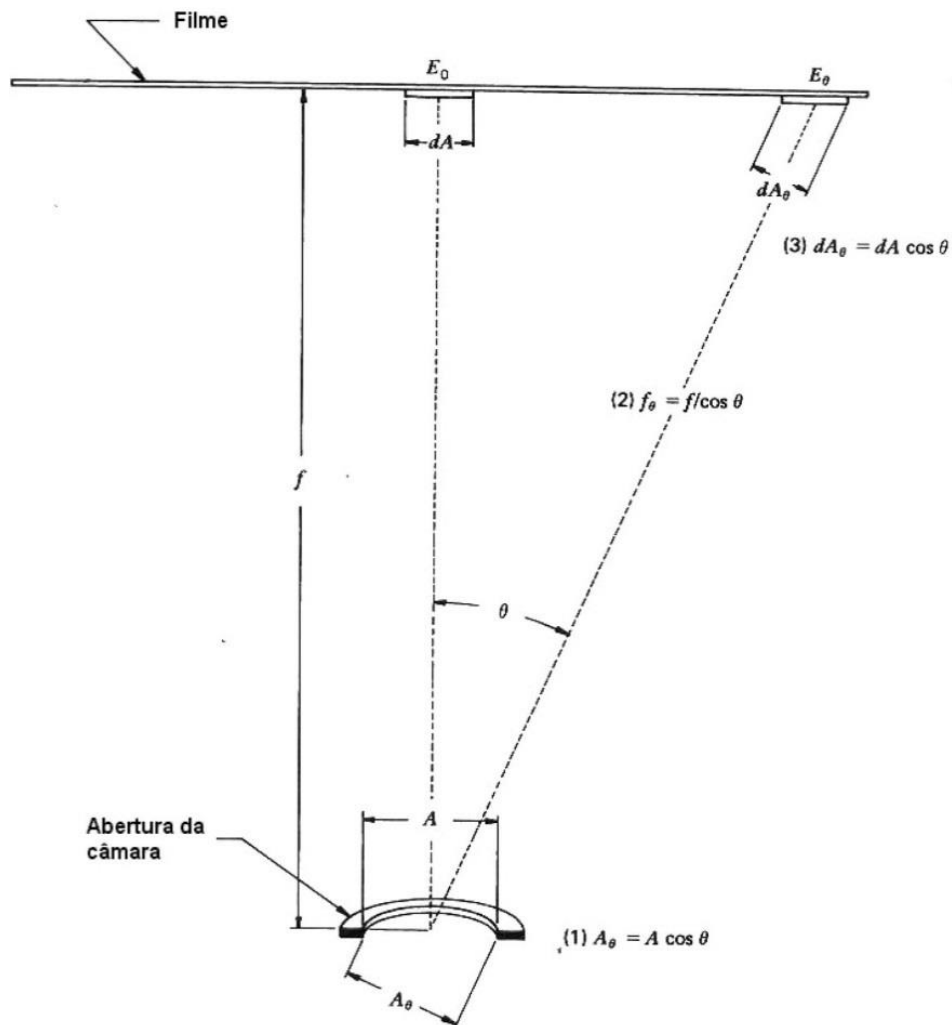


Figura 4.3 - Princípio do escurecimento dos cantos da imagem (adaptado de Lillesand Kiefer, 2000)



Figura 4.4 - Exemplo de imagem escurecida nos cantos.

4.3.4 Arrastamento da imagem

Qualquer movimento da plataforma que suporta o sensor, durante o tempo de exposição, pode provocar o efeito de arrastamento, que se caracteriza por uma perda de nitidez na imagem captada (Figura 4.5). Este arrastamento traduz-se por:

$$a = vtE \quad (4.1)$$

Sendo:

a o valor do arrastamento;

V a velocidade da plataforma em metros por segundo;

t o tempo de exposição em segundos;

E a escala da foto.



Figura 4.5 - Arrastamento da Imagem

4.3.5 *Efeitos atmosféricos*

As variações atmosféricas diárias e por vezes ao longo do dia têm repercussões na qualidade da imagem captada, dos vários fenómenos existem alguns mais habituais a saber:

- Dias ensolarados, causam sombras extensas em determinados horários (Figura 4.6 a). A solução é realizar os voos em horários apropriados como já referido no capítulo do plano do voo;
- Humidade, acentua a reflexão da luz solar na camada atmosférica (Figura 4.6 b), causando o efeito designado como *hot-spot*, que encobre a informação existente no terreno. Ao programar o voo para que a distância zenital do sol esteja superior à metade do campo de abertura da objectiva da camara usada, este efeito é minimizado;
- Névoa atmosférica ou neblina, contem partículas propensas a reflectir o azul (espelho de Rayleigh), dando um aspecto azulado a imagem capturada (Figura 4.6 c). Para diminuir esse efeito usa-se um filtro amarelo (*minus blue filter*), com boa transmitância para as restantes bandas.



a)

b)

c)

Figura 4.6 – Sombras (a), *hot spot* (b) e nevoa atmosférica (c)

4.4 Procedimentos de Resolução de Problemas na Imagem

4.4.1 O princípio do Algoritmo Adaptativo Local Range Modification (LRM)

Segundo Schowengerdt (1997), o algoritmo *Adaptativo Local Range Modification* (LRM), foi desenvolvido com base na partição da imagem e respectivo processamento localizado, sendo classificado pelo autor como um algoritmo

adaptativo, no qual os parâmetros são alterados em cada píxel, em função das condições locais de brilho e contraste da imagem. A adaptação do novo valor de intensidade de brilho de cada píxel depende dos parâmetros estatísticos do histograma extraídos do bloco padrão.

A Figura 4.7, ilustra as diferenças no padrão radiométrico de uma fotografia aérea digital, representadas pelos histogramas extraídos de áreas localizadas em regiões distintas da imagem, processo usado pelo algoritmo adaptativo LRM. É de salientar que as três áreas seleccionadas, possuem sensivelmente o mesmo tipo de padrão, a predominância de mata, como cobertura de solo semelhante.

O LRM, como inicialmente proposto por Schowengerdt, requer a detecção dos valores, máximo e mínimo, de brilho de cada bloco padrão, utilizando a sua média numa interpolação bilinear, de modo a fornecer a cada píxel processado, os valores limite a que esse píxel será submetido.

O algoritmo LRM é fundamental para a minimização das descontinuidades da imagem processada, evitando que esta apresente quebras correspondentes à distribuição da luz no plano focal.

A adaptação do algoritmo às áreas marginais da imagem requer que os valores, máximo e mínimo (H e L respectivamente), sejam calculados para cada vértice da área, recorrendo à média dos valores das áreas vizinhas (L_A, L_B, L_D e L_E), de modo a permitir uma abrangência integral do processamento, conforme as equações:

$$MIN = \frac{(L_A + L_B + L_D + L_E)}{4} \quad (4.2)$$

$$MAX = \frac{(H_A + H_B + H_D + H_E)}{4} \quad (4.3)$$

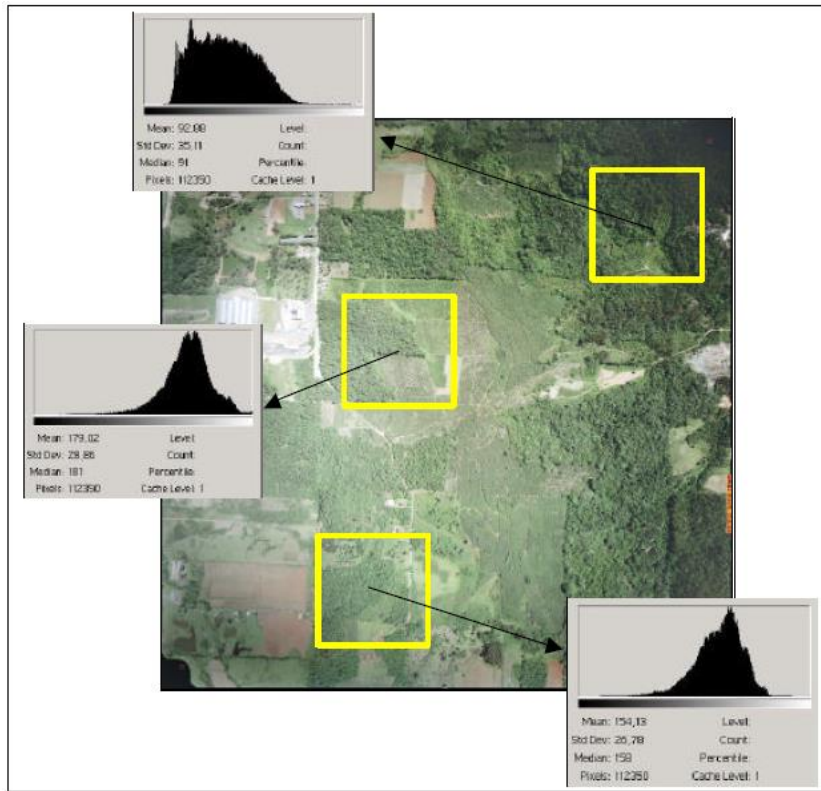


Figura 4.7 - Padrões distintos de histograma de uma fotografia aérea digital (adaptado de Z/I Imaging Corporation, 2009).

Com base na Figura 4.8, as equações seguintes representam as interpolações propostas, tomando como origem, a posição (x,y) do píxel indicada pelas setas que estão no interior do bloco *E*. Deste modo são utilizados no cálculo, os valores máximo e mínimo dos vértices 6, 7, 10 e 11, ou seja, os adjacentes ao píxel em questão.

$$GL_{MIN} = \left[\frac{x}{X} MIN_7 + \left(\frac{X-x}{X} \right) MIN_6 \right] \left(\frac{Y-y}{Y} \right) + \left[\frac{x}{X} MIN_{11} + \left(\frac{X-x}{X} \right) MIN_{10} \right] \frac{y}{Y} \quad (4.4)$$

$$GL_{MAX} = \left[\frac{x}{X} MAX_7 + \left(\frac{X-x}{X} \right) MAX_6 \right] \left(\frac{Y-y}{Y} \right) + \left[\frac{x}{X} MAX_{11} + \left(\frac{X-x}{X} \right) MAX_{10} \right] \frac{y}{Y} \quad (4.5)$$

Sendo:

GL_{MIN} = Valor mínimo de intensidade de brilho do píxel;

GL_{MAX} = Valor máximo de intensidade de brilho do píxel;

X = Dimensão do bloco em colunas;

Y = Dimensão do bloco em linhas;

x = Coluna referente à posição do píxel no bloco;

y = Linha referente à posição do píxel no bloco.

Uma vez calculados os valores acima, estes são utilizados no processamento responsável pelo valor de intensidade do brilho atribuído à imagem de saída (output).

$$GL' = \frac{255}{GL_{\max} - GL_{\min}} (DN - GL_{\min}) \quad (4.6)$$

Sendo:

GL' = Intensidade de brilho a ser aplicada ao píxel;

DN = Intensidade de brilho existente no píxel de *input* (entrada).

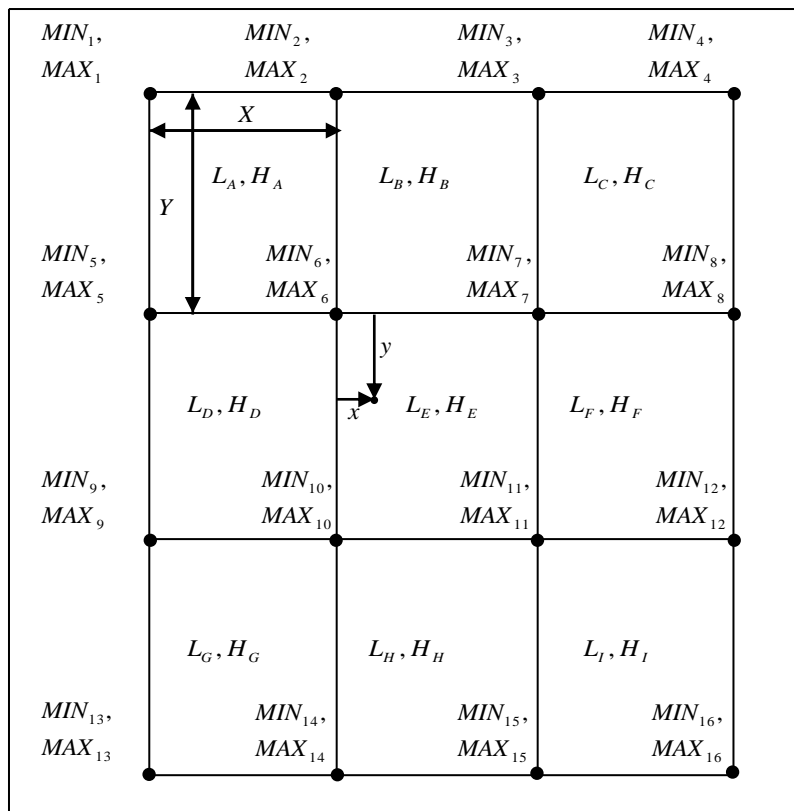


Figura 4.8 - Blocos e parâmetros utilizados na LRM. Fonte: Schowengerdt (1997).

4.4.2 *Adaptações da LRM para o balanceamento de imagens*

O algoritmo LRM descrito até agora, embora promova excelentes resultados na homogeneização da luminosidade em imagens digitais, tem como principal ponto fraco, a morosidade de processamento, causada principalmente pela quantidade consecutiva de cálculos envolvidos, segundo resultados provenientes de implementações em *Matlab*.

Com Base no princípio adaptativo, em que os parâmetros utilizados no processamento variam conforme são detectadas variações no comportamento radiométrico dos pixels ao longo de uma imagem, foram desenvolvidas algumas aplicações com base em algumas variações do LRM. Exemplo disso são aplicações focadas no balanceamento e que utilizam o mesmo princípio básico, porém extraíndo dados sobre a estatística dos blocos envolvidos, minimizando o número de operações matemáticas envolvidas, para tal, são ignorados os valores máximo e mínimo de intensidade do brilho dos pixels, dando lugar ao uso dos valores médios de brilho e contraste em cada bloco, exemplo disso é a aplicação *Dodge* usada no presente trabalho.

Pode-se então concluir que, para realizar um balanceamento automático digital, o padrão adaptativo dos parâmetros de ajuste local do histograma permite detectar e minimizar diferenças radiométricas ao longo de uma imagem, traduzidas num ganho de luminosidade em áreas escurecidas (geralmente nos extremos das fotografias aéreas ou em regiões com sombras) e o escurecimento em áreas mais claras.

Semelhante ao modelo LRM, a imagem digital deve ser dividida em blocos e para cada um destes, deverão ser calculados os valores da média e do desvio padrão. Com base nestes valores locais, poderão ser identificados e compensados os problemas associados à falta ou ao excesso de luminosidade da imagem, com base num valor médio global ou num valor de histograma pré-estabelecido, (Figura 4.9):

- Inicialmente, devem ser estabelecidos os valores da média e do desvio padrão, correspondentes aos valores de brilho e contraste médios associados ao histograma da imagem de entrada (input);

- Dividir a imagem em blocos, cujas dimensões podem variar em função das transições radiométricas nela existentes, das feições do terreno, não esquecendo de que o tamanho da mesma não deve comprometer a agilidade dos processos sucedâneos;
- Calcular para cada bloco os valores referentes à média e ao desvio padrão dos valores de intensidade do brilho dos pixels que o compõem;
- Comparar os valores da média e desvio padrão de cada bloco com os valores globais da imagem, revelando as áreas mais claras e mais escuras;
- A homogeneização do padrão de luminosidade entre os blocos é obtida em função da distância euclidiana dos mesmos e da diferença entre os valores das estatísticas dos blocos e da imagem;

No processo de recolha dos valores da média e do desvio padrão da imagem e dos blocos, geralmente são descartados os valores de brilho dos pixels próximos das margens, pois estes normalmente tendem a divergir muito dos registados na globalidade da imagem.

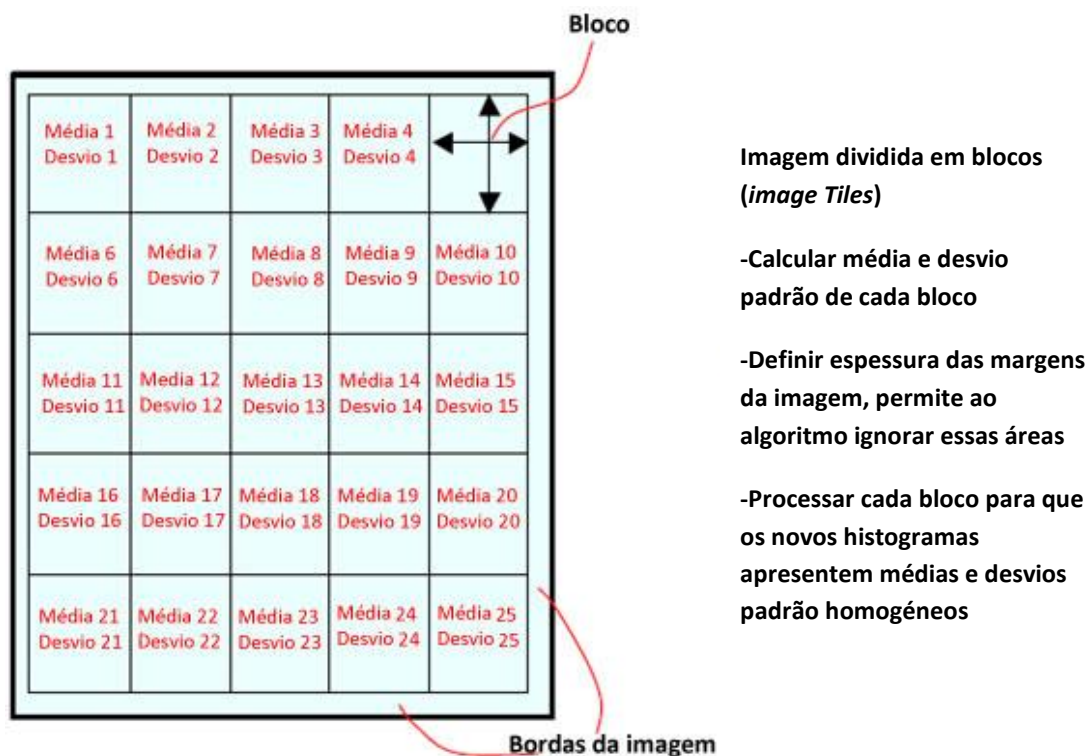


Figura 4.9 - Exemplo ilustrativo da técnica LRM, utilizada nas aplicações Dodge (adaptado de Z/I Imaging Corporation, 2009).

É de ressaltar que o número de blocos em que se divide a imagem é realizado em função das feições do terreno que a mesma apresenta, por exemplo, em áreas urbanas com edificações altas, o efeito causado pelo contraste das zonas sombrias pode ser reduzido se as dimensões dos blocos forem também reduzidas, por outro lado em áreas cuja cobertura do solo é mais homogênea, geralmente em áreas rurais ou com cobertura vegetal densa, o número de blocos utilizado para o balanceamento pode ser menor, o que se traduzirá num menor tempo de processamento.

Outro factor importante é poder-se efectuar o processamento diferenciado das imagens coloridas, geralmente de 24 bits com três componentes de 8 bits, correspondentes aos canais RGB, conforme ilustra a Figura 4.10, preservando a estrutura LRM de cada canal. Desta forma, decompõem-se cada imagem digital em canais independentes, de modo a que não exista influência de um canal noutro, principalmente em áreas de terreno em que sua representação esteja muito saturada e a intensidade de brilho tem enormes variações entre cada canal. A ideia de decompor a imagem nas suas várias bandas, possibilita o tratamento de cada uma delas de forma independente.

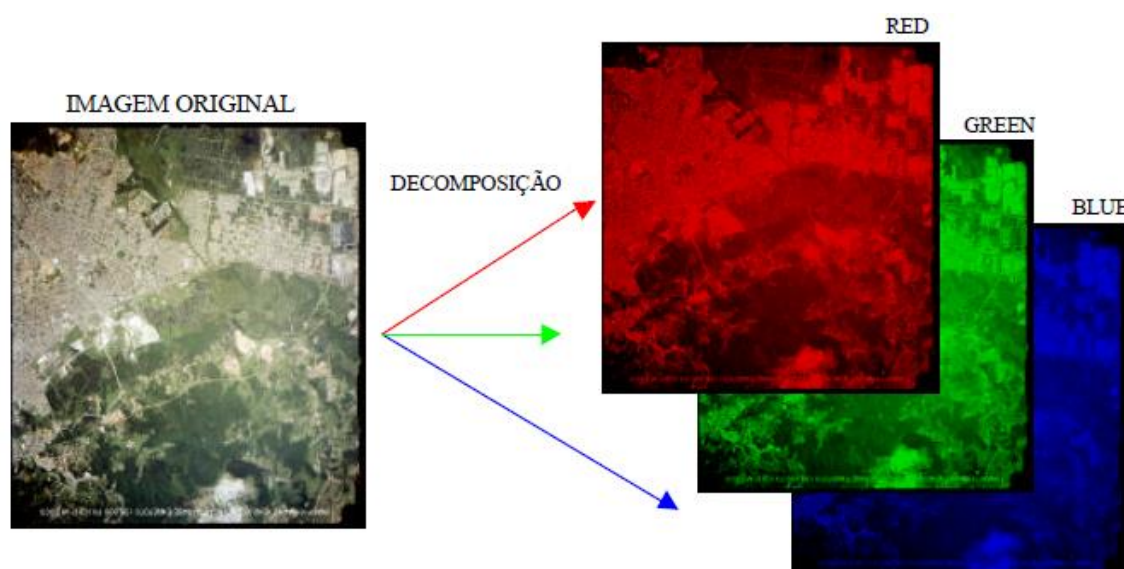


Figura 4.10 - Decomposição de uma fotografia aérea de 24 bits em canais RGB (adaptado de Z/I Imaging Corporation, 2009).

Seguidamente, utiliza-se o algoritmo LRM para cada canal R, G e B, segundo o procedimento já descrito anteriormente para os valores estatísticos globais da imagem e locais do bloco, promovendo desta forma uma melhor distribuição da intensidade luminosa em cada canal. Na prática, a grande vantagem do processamento em canais independentes, relaciona-se com o balanceamento do canal azul, onde a influência dos efeitos atmosféricos ocorre com maior intensidade. Finalmente procede-se à junção de todos os canais já balanceados numa única imagem de 24 bits.

Embora a decomposição da imagem seja de grande utilidade, permitindo ajustes não só em brilho e contraste, mas também em tonalidades entre imagens distintas, este procedimento não está disponível em todas as aplicações de balanceamento de cores.

Como exemplo da eficiência do balanceamento digital na minimização dos efeitos atmosféricos, a Figura 4.11 apresenta na imagem à esquerda padrões acentuados desses efeitos, e na imagem à direita pode constatar-se a mesma imagem após o balanceamento por canais independentes, onde é possível observar a distribuição homogênea de tonalidades.

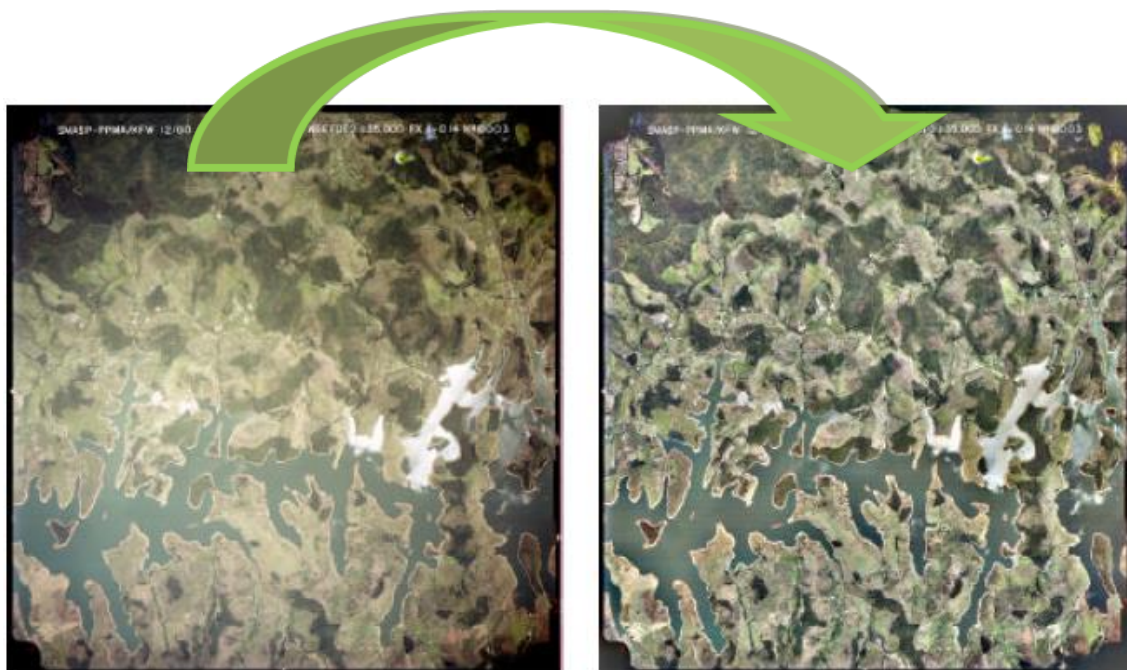


Figura 4.11 - Análise comparativa de uma área rural contendo um enorme plano de água.

Esquerda: imagem original, Direita: imagem balanceada.

4.4.3 *Balanceamento de várias imagens*

Os projectos em fotogrametria comportam geralmente inúmeras imagens de forma a cobrir a região a ser mapeada, onde a quantidade de fotografias está directamente relacionada com a área de cobertura, a escala aproximada das fotos, e sobreposições longitudinais e transversais. Desta forma as imagens poderão sofrer efeitos causados por diferenças de tonalidades, apresentando alterações no padrão entre imagens adjacentes ou entre fiadas de voo distintas. Estas diferenças radiométricas entre imagens podem provocar efeitos esteticamente nefastos ao projecto, principalmente nos produtos cartográficos derivados da fotografia aérea, como os ortofotos e ortofotomapas, além de prejudicar algumas operações como a restituição fotogramétrica e processos de classificação automática.

O balanceamento aplicado a um conjunto de imagens não difere dos princípios anteriores, ou seja, requer inicialmente processamentos localizados em cada uma das imagens, ou conjuntos de imagens com características tonais muito semelhantes, gerando parâmetros que na etapa seguinte irão influenciar todas as imagens do conjunto. Aí os resultados de cada processamento local são adicionados ao conjunto de valores que definirão estatisticamente o padrão radiométrico da totalidade das imagens do projecto.

O primeiro passo é calcular os valores de média e desvio padrão globais dos canais RGB de todas as imagens do conjunto, seguidamente encontra-se um valor único para cada canal, que servirá como referencia, este deve ser calculado, por exemplo, através de uma nova média, conforme ilustram as imagens da Figura 4.12 e Tabela 4.2.

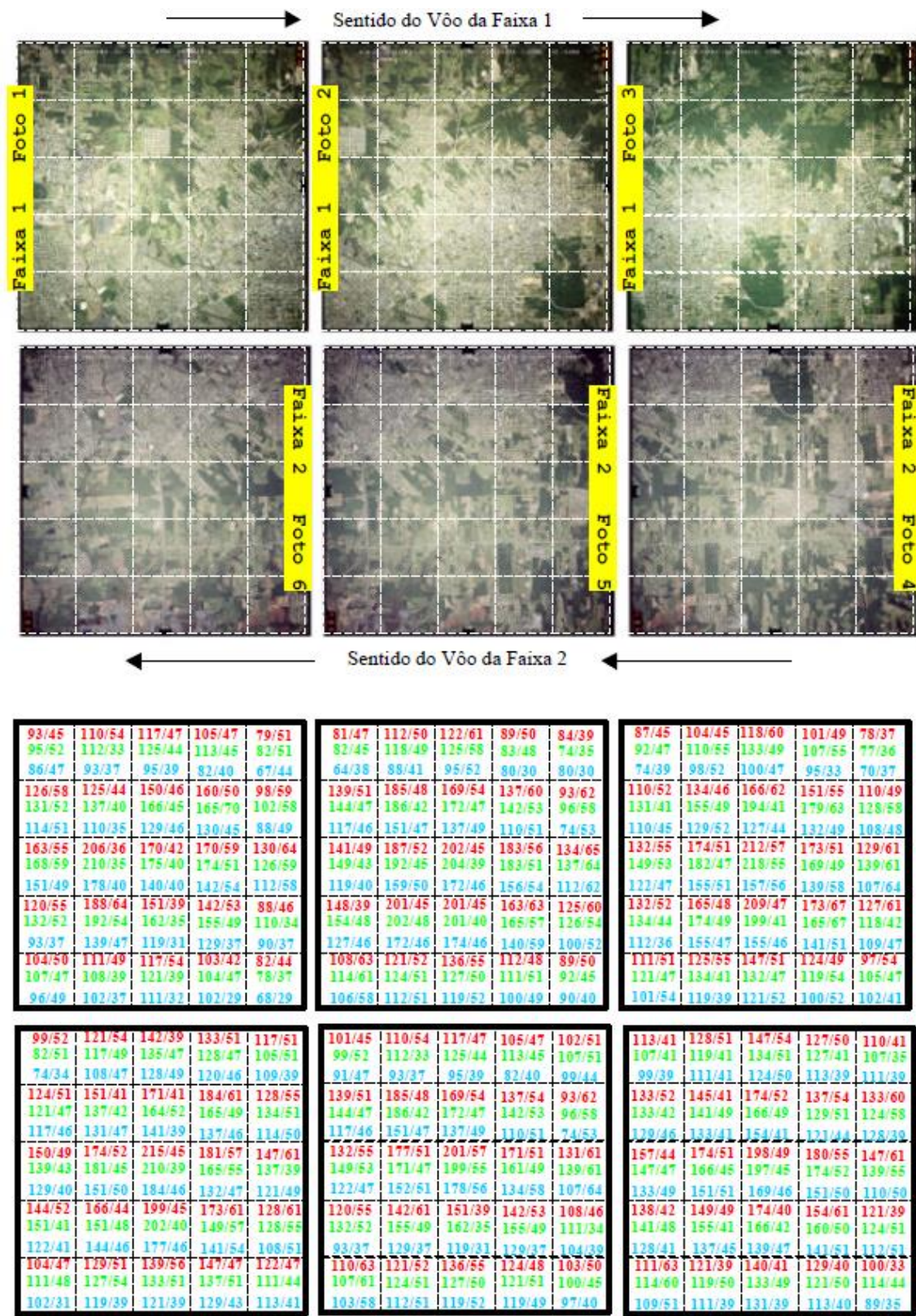


Figura 4.12 - Divisão esquemática das fotografias aéreas em blocos e respectivos valores de brilho e contraste extraídos dos canais RGB (média e desvio padrão).

	Bloco i			Bloco ii			Bloco iii			Bloco iv			...	IMG1		
M	120	119	133	127	129	118	125	131	125	138	144	138	...	128	131	129
DP	36	39	38	33	37	29	34	39	33	36	36	36	...	35	38	34

	Bloco i			Bloco ii			Bloco iii			Bloco iv			...	IMG1		
M	132	117	145	143	143	139	139	129	133	145	153	147	...	136	133	137
DP	43	31	42	38	35	31	36	32	29	44	45	39	...	39	38	37

	Bloco i			Bloco ii			Bloco iii			Bloco iv			...	IMG1		
M	138	109	115	139	111	119	143	126	127	155	133	127	...	142	129	125
DP	34	32	27	36	39	32	46	42	39	49	42	33	...	38	33	32

	Bloco i			Bloco ii			Bloco iii			Bloco iv			...	IMG1		
M	137	126	135	144	153	132	138	139	143	135	158	145	...	137	153	135
DP	39	34	37	37	41	35	38	42	39	41	47	41	...	42	49	41

	Bloco i			Bloco ii			Bloco iii			Bloco iv			...	IMGn		
M	125	122	131	132	110	136	131	115	121	136	119	132	...	129	119	129
DP	37	27	32	35	27	33	36	25	32	32	29	36	...	35	26	33

Valores Médios		
139	132	128
35	36	33

Tabela 4.2 - Exemplo de valores de média e desvio padrão dos blocos, das imagens e do conjunto das imagens que formam o projecto.

Uma vez calculados o valor da média e do desvio padrão do conjunto de imagens, estes serão a referência para o ajuste radiométrico, aplicado sequencialmente a cada bloco de imagens. Desta forma, como o histograma dos vários blocos é conhecido, a diferença entre a média global e a média local é utilizada para estimar o quanto cada bloco está mais claro ou mais escuro, em cada um dos canais RGB, aplicando então ponderadamente, correcções nos respectivos histogramas (Figura 4.13).

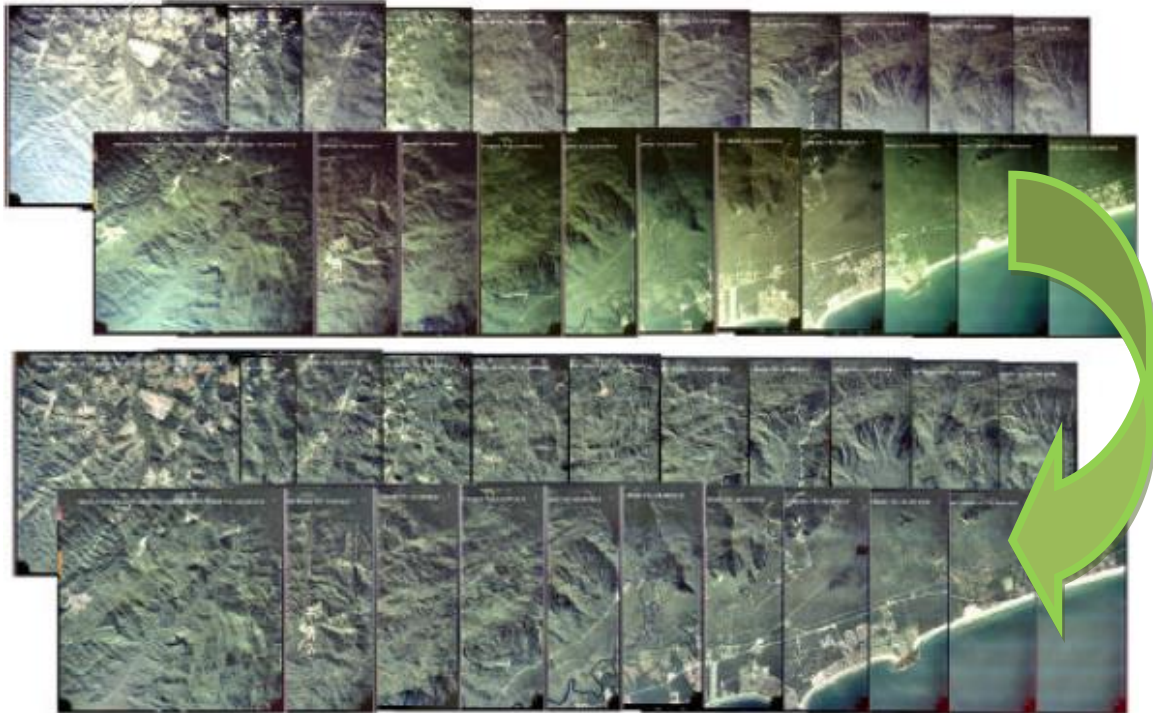


Figura 4.13 - Foto-índice de fotografias aéreas, acima: imagens originais, abaixo: imagens com balanceamento em conjunto.

Os factores que ponderam as alterações de brilho e contraste nos histogramas são:

- Posição (linha, coluna) dos pixéis dentro de cada bloco, semelhante ao método LRM, o que permite a interpolação do novo valor de brilho assumido pelo píxel, tendo em consideração os valores e a distância dos blocos adjacentes;
- Valores, máximo e mínimo, de tolerância de ajustamento, responsáveis por limitar a alteração do valor dos pixéis. Estes parâmetros restringem o ajustamento ao intervalo limite, permitindo preservar as características radiométricas dos pixéis, do bloco, ou permitindo também minimizar o impacto de um novo histograma aplicado aos blocos.

Seguidamente é mostrado o exemplo de um mosaico (Figura 4.14), onde inicialmente este foi processado fazendo-se uso das imagens originais, isto é, sem terem sido submetidas ao processo de balanceamento, e posteriormente o mesmo mosaico, mas com o uso das imagens cujos brilho e contraste já estão homogeneizados. Numa análise ainda que simplista, no primeiro mosaico estão claros os problemas excessivos de heterogeneidade das tonalidades, que são observáveis principalmente nas linhas de transição entre as imagens da composição, o mesmo não acontece no mosaico com as imagens já balanceadas. Neste caso se o objectivo do processamento for o de obter um mosaico homogéneo, o produto pode ser considerado satisfatório.

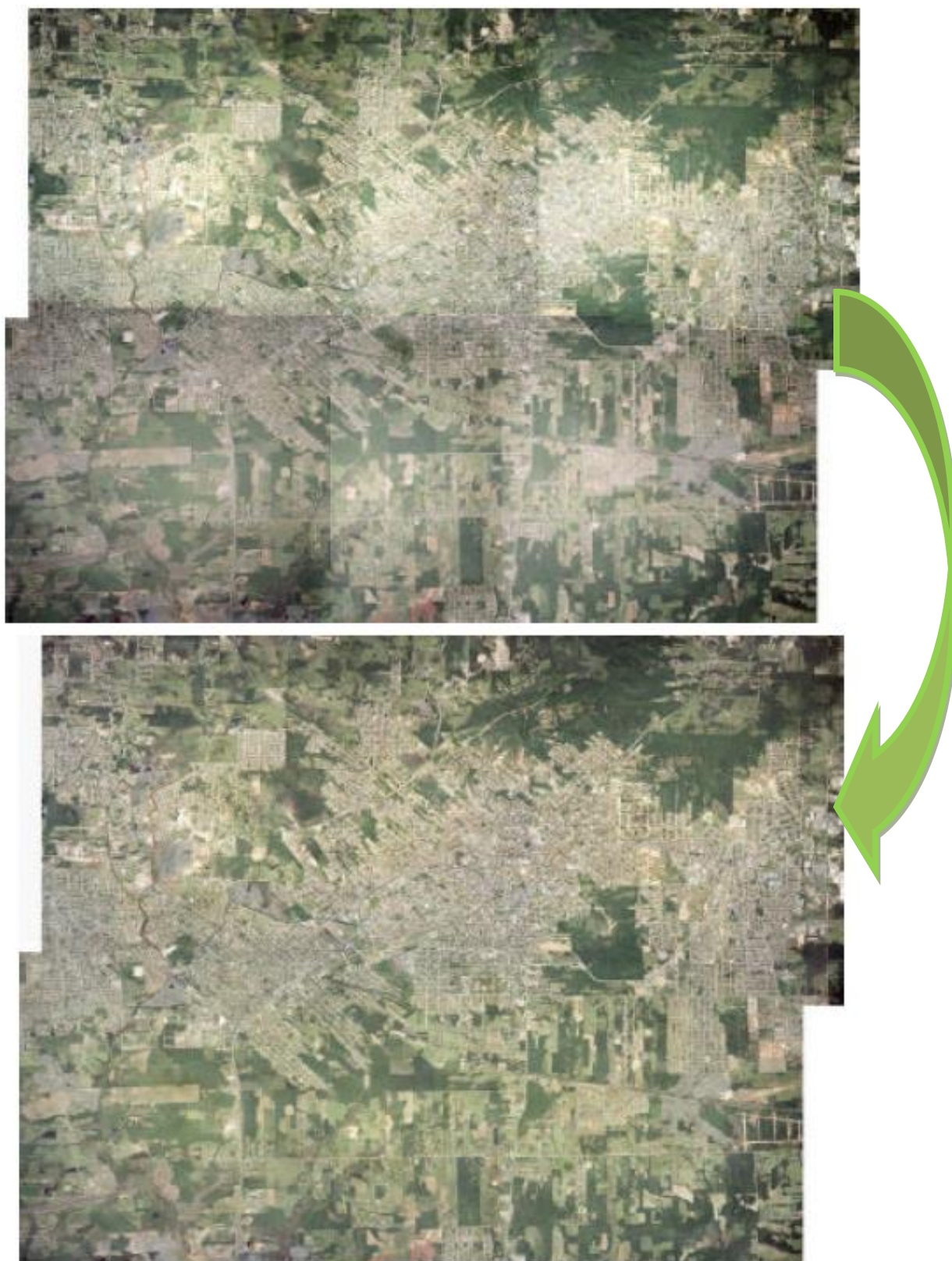


Figura 4.14 - Mosaico de fotografias aéreas antes e após o balanceamento das cores.

4.4.4 *Solução Z/I Imaging*

A *Z/I Imaging*, aplicação usada no âmbito deste estágio, de entre a sua vasta oferta de aplicações, contempla uma destinada exclusivamente ao balanceamento de imagens digitais, denominada *Dodging*. O seu desenvolvimento está baseado no princípio do processamento local de imagens digitais, através da divisão de imagens originais em blocos rectangulares de píxeis.

O princípio do processamento local de imagens defendido por Schowengerdt (1997) e descrito no subcapítulo anterior exige, além da divisão da imagem original em pequenos blocos, uma adaptação dos novos valores para cada píxel da imagem, tendo em consideração a distância euclidiana do píxel em relação aos blocos adjacentes. Essa adaptação do novo valor atribuído ao píxel em função da distância elimina problemas de descontinuidades radiométricas nas imagens, evitando que sejam visíveis transições entre os blocos processados.

O *Dodging*, embora utilize o processamento local em blocos, não utiliza o cálculo adaptativo dos píxeis, através da distância euclidiana dos bolcos. A solução adoptada para suavização das descontinuidades entre os blocos vem da utilização de filtros-passa-baixo, através de janelas de convolução (operador linear que, a partir de duas funções dadas, resulta numa terceira que mede a área subentendida pela superposição das mesmas em função do deslocamento existente entre elas) percorrendo toda a imagem processada, suavizando diferenças abruptas de tonalidade entre píxeis adjacentes.

Segundo instruções relatadas no próprio aplicativo, a adopção de filtros-passa-baixo funciona melhor se o número de blocos utilizados para o processamento da imagem for grande. Desta forma, com um número maior de blocos, cada bloco contém um menor número de píxeis, consequentemente, diminuem as diferenças entre os valores médios de brilho e contraste dos blocos adjacentes, o que facilita a suavização conseguida pelo filtro.

Como acontece com o processamento em blocos e o filtro-passa-baixo, a *Z/I Imaging* utiliza outras soluções que possibilitam melhores resultados no *Dodging*. De entre os principais parâmetros destacam-se o controlo dos valores máximo e mínimo

permitidos para alterar o valor de intensidade de brilho de cada píxel, o controlo do valor médio associado ao histograma, que é utilizado como referência no ajuste individual dos histogramas dos blocos, além da possibilidade de eliminar os elementos com valores nas extremidades do histograma, ou seja, píxeis com valores máximos ou mínimos que geralmente estão presentes em áreas de *hot-spot* e margens da fotografia aérea, cujos valores não representam feições do terreno.

Na prática, o programa *Dodging* executa processamentos em imagens com formato próprio da *Z/I Imaging* ou em imagens com formato universal, como por exemplo imagens *Tiff Tiled (Tagged Image File Format*, com junção de píxeis em bloco), devolvendo resultados rápidos e com qualidade notável.

A imagem balanceada, desde que utilizados parâmetros nos filtros de suavização adequados, apresenta bons resultados, embora o seu processamento na aplicação *Dodging* seja obrigatoriamente único para os três canais RGB, situação que a experiência e conhecimento adquiridos me levaram a conseguir transpor, bastando para tal, numa fase anterior separar a imagens por canais RGB distintos, tarefa executada por exemplo na aplicação *I/RASC* também da *Z/I Imaging*, permitindo assim, que por exemplo, se os efeitos visíveis da influencia atmosférica ocorrem com maior intensidade na região do espectro electromagnético correspondente ao azul, seja possível apenas balancear o canal correspondente.

Esta aplicação também tem o benefício de poder ser utilizada como sequência de comandos em que o utilizador recorre a uma *prompt* de comandos, que pode facilmente ser adaptada em aplicações simples, como por exemplo o *Microsoft Visual Basic*, tendo por base os parâmetros:

$$\begin{aligned} & \text{dodgeC} \ -i \ \text{inputfile} \ -o \ \text{outputfile} \ -t \ 64 \ -g \\ & -35 \ +g \ 35 \ -k \ 25 \ -c \ 127 \ -p \ 1 \ p \ 254 \end{aligned} \quad (4.7)$$

Onde:

t = Dimensão dos blocos em píxeis;

g = Tolerância permitida para alteração da intensidade de brilho do píxel;

k = Dimensão em píxel do filtro de convolução (*kernel size*);

c = Valor médio de brilho do histograma após o processamento;

p = Parâmetro balizador do valor de intensidade de brilho dos pixéis que farão parte do balanceamento.

A aplicação *Dodging* será amplamente esmiuçada e exercitada no respectivo capítulo na componente prática do presente trabalho.

Pode -se dizer em jeito de epílogo, que a introdução de uma etapa de homogeneização das fotografias aéreas traduz-se num real ganho, seja pela melhoria visual do conjunto, como pela uniformidade no padrão dos histogramas em imagens cuja cobertura do solo é similar, proporcionando desta forma, melhorias quantos aos produtos subsequentes, como ortofotos e ortofotomapas e nos processos digitais de interpretação de imagens.

5 Fotogrametria Digital

5.1 Introdução

O procedimento integral da fotogrametria digital (aquisição e processamento) surgiu nos finais do século XX com o lançamento da primeira câmara fotogramétrica digital, passando a ser possível efectuar todos os processos fotogramétricos em suporte digital, tornando os procedimentos realizados em fotogrametria mais automáticos e menos morosos, o que se traduziu em menores custos.

Configura uma tecnologia de informação usada para gerar informações geométricas, radiométricas e de semântica sobre objectos no universo 2D, obtidas de imagens digitais 2D (planas) destes objectos (Heipke, 1995). A par da evolução da fotogrametria como arte e ciência para cartografar o mundo, a evolução dos aparelhos fotogramétricos acompanhou essa tendência. Observou-se o declínio e desaparecimento dos aparelhos estereorrestituidores²⁰ e a expansão da triangulação analítica, os ajustes de blocos como um todo e a ascensão e afirmação dos estereorrestituidores analíticos.

Helava (1992) afirma que, o domínio da tecnologia do computador, as imagens rasterizadas/vectorizadas (obtidas a partir de scanner²¹) e a fotogrametria analítica inserem as três vertentes que sustentam a fotogrametria digital. Segundo o autor, ocorrem alianças estratégicas da fotogrametria digital com outros segmentos, como os SIG e a detecção remota, dado que a fotogrametria digital pode fornecer o grau de exactidão necessário. Para o autor os elementos fundamentais para a fotogrametria digital são: a precisão, a estabilidade e a repetibilidade do processo digital, que asseguram a continuidade nas relações matemáticas entre o píxel e o ponto correspondente no terreno.

O facto de o processamento ser todo efectuado em suporte digital demonstra desde logo uma grande vantagem sobre a fotografia analógica, mas a grande

²⁰ Estereorrestituídor – Equipamento de observação estereoscópica de fotogramas, em película ou em formato digital, que permite a aquisição georreferenciada rigorosa de informação do terreno.

²¹ Scanner - Equipamento de digitalização automática de documentos em papel ou película.

relevância, recai sobre o suporte da imagem, que permitiu a substituição da visão humana pela detecção automática, permitindo assim a manipulação e edição dos vários produtos subsequentes. Este avanço permitiu aos operadores fotogramétricos transformar imagens *raster* em vectores e dotar estes com atributos, de uma forma muito mais rápida e eficiente.

Comparativamente à fotogrametria analógica, as grandes vantagens da fotogrametria digital são: a redução do número de calibrações a efectuar à câmara fotogramétrica; acesso ao conteúdo radiométrico, podendo assim manipular em pós processamento a qualidade da foto; optimização de processos, menor intervenção humana e consequente aumento da produção e redução de custos.

No entanto, a fotogrametria digital, a par de toda a tecnologia, não trouxe apenas vantagens, também trouxe outras realidades, sendo que a mais difícil de contornar é o custo de aquisição de equipamentos e sistemas computacionais de elevado desempenho, bem como, a elevada necessidade de capacidade de armazenamento.

5.2 Triangulação Aérea

A triangulação aérea²² compreende num conjunto de operações que permitem orientar a cobertura fotográfica de uma área, de modo a formar um modelo completo (formado por vários modelos parciais) que seja matematicamente semelhante ao objecto fotografado, usando para isso o mínimo possível de PF. Antes de se proceder à aquisição do pormenor captado pela fotografia aérea, é necessário realizar operações de orientação da fotografia e do modelo estereoscópico, para tal existem quatro operações de orientação (Redweik, 1998): interna, externa, relativa e absoluta.

- Orientação interna, permite conhecer a posição da fotografia dentro da câmara, reconstruindo o feixe de raios perspectivais que deu origem à fotografia. Os elementos de orientação interna são obtidos em laboratório e

²² Triangulação Aérea – Método fotogramétrico que serve para determinar os parâmetros de orientação externa ou absoluta de fotogramas ou modelos estereoscópicos, servindo ainda para a determinação de redes de pontos coordenados.

disponibilizados através do certificado de calibração da câmara e em constam os quatro parâmetros seguintes:

- Coordenadas do ponto principal (x_0, y_0) referidas ao ponto médio PM ;
- A constante da câmara (f) - distância do centro óptico da objectiva ou centro de projecção, ao plano da fotografia;
- Distorção da objectiva - $F(r)$ em que r é a distância radial.

- Orientação externa, permite posicionar e orientar no espaço o feixe perspectivo que deu origem à fotografia. A posição espacial (posição do feixe perspectivo no espaço) do centro de projecção da fotografia e do eixo óptico da câmara no momento da tomada da foto é definida por seis parâmetros:

- (X_0, Y_0, Z_0) - Coordenadas do centro de projecção O num sistema de coordenadas objecto, ao qual se refere os pontos fotografados;

-Três ângulos independentes, que definem a orientação do sistema de coordenadas foto (3D) no espaço objecto. Em fotografia aérea é usual considerar os ângulos ω , ϕ e κ correspondentes à atitude da câmara no momento da fotografia.

Ao conhecer os parametros das orientações interna e externa pode-se estabelecer a relação entre a fotografia e objecto e ou área fotografados, sendo no entanto necessário um par estéreo cópico para se visualizar a terceira dimensão do objecto (Redweik, 1998).

- Orientação Relativa, processo pelo qual os dois feixes perspectivos ficam numa posição relativa análoga à que tinham quando foram capturadas as duas fotografias, isto é, posiciona as duas fotografias de um objecto ou área relativamente uma à outra, tal como foram obtidas.

Se as fotos formam um par estereoscópico, a orientação relativa consiste na eliminação das paralaxes verticais e na minimização das paralaxes horizontais, formando-se um modelo estereoscópico, passível de visualizar a três dimensões.

Quando as duas fotos não formam um par estereoscópico, a orientação relativa é feita apenas analiticamente, consistindo em determinar as posições relativas dos centros de projecção, sabendo que os raios passam pelas duas imagens de um ponto objecto e pelos centros de projecção, interceptando-se num ponto (eixos convergentes).

Consideram-se cinco parâmetros: três rotações e duas translações. Se conhecermos os parâmetros de orientação externa das duas fotografias do par, ao fazer-se a orientação relativa, obtém-se automaticamente um modelo estereoscópico escalado e orientado no espaço, do qual se pode tirar informações geométricas correctas do objecto, sendo que a precisão é inerente à escala.

Caso existam pares estereoscópicos, a orientação relativa pode ser realizada sem recurso aos parâmetros de orientação externa das fotografias, dado que é visualizado um modelo estereoscópico com uma escala indeterminada e uma orientação arbitrária no espaço (Redweik, 1998).

- Orientação absoluta²³, permite determinar a escala e a orientação no espaço do modelo estereoscópico, estabelecendo-se assim o paralelismo entre o modelo estereoscópico e o objecto (terreno). Com a orientação absoluta obtêm-se 7 parâmetros:

-Escala do modelo;

- (Ω, ϕ, K) - Rotações gerais do modelo;

- $(\Delta X, \Delta Y, \Delta Z)$ - Translações entre as origens dos dois sistemas.

5.3 Aerotriangulação

A aerotriangulação é um processo no qual são realizadas operações matemáticas e estatísticas, com o objectivo de determinar a orientação espacial de uma cobertura

²³ Orientação Absoluta – Processo fotogramétrico que permite relacionar um modelo estereoscópico, onde está definido um sistema de coordenadas rectangulares tridimensional, com o terreno e o seu sistema de coordenadas de referência.

fotográfica, para tal os algoritmos pesquisam pontos de apoio em áreas comuns entre as fotografias, funcionando como pontos de ligação entre as fotografias e as fiadas adjacentes., os mesmos são designados por *Tie Points*.

O objectivo da aerotriangulação é orientar e ajustar as fotografias, de modo que qualquer ponto lido nessa imagem possua uma coordenada correctamente posicionada num sistema de referência. Isto significa que, através de coordenadas terreno de alguns pontos e tendo em conta a geometria de cada fotografia, de cada modelo estereoscópico e da cobertura, é possível determinar os parâmetros que relacionam analiticamente as imagens com o objecto. Estes parâmetros dividem-se em orientação externa de cada fotografia e orientação absoluta de cada modelo estereoscópico.

O processo de aerotriangulação é realizado ao longo de faixas ou blocos sendo necessário no mínimo três fotografias aéreas, as coordenadas foto de pontos de apoio e PF, coordenadas terreno dos PF e os parâmetros de orientação interna da camara.

A precisão da aerotriangulação depende de diversos factores e alguns com difícil grau de aperfeiçoamento: dimensão do bloco de fotografias, tipo (qualidade) e densidade de apoio, sobreposição longitudinal e lateral, tipo de equipamento de aquisição e processamento, distância focal da câmara fotogramétrica, qualidade da fotografia, método de triangulação e qualidade no apoio topográfico, experiencia e rigor dos operadores. A fotogrametria é uma ciência que requer medições e naturalmente também consciência para os erros que lhe estão associados.

De acordo com (Wolf, 1983), define-se por erro sistemático, o erro de uma medida que sugue uma lei matemática ou física. Se as condições que causam o erro forem mensuráveis, pode se calcular uma correcção e eliminar o erro sistemático. Estes mantêm-se constantes quer em ordem de grandeza quer em sinal, sempre que se mantiverem as condições que os originaram. São também designados como erros cumulativos, porque se acumulam, exemplos de erros sistemáticos na fotogrametria são as distorções das lentes das câmaras, a refração da atmosfera, a expansão ou retrair das fotografias.

Erros casuais ou aleatórios (*random error*) são aqueles que permanecem após se eliminarem os erros sistemáticos, sendo também designados por erros acidentais. Estes erros são geralmente de grandezas pequenas, não podendo ser inteiramente evitados durante as medições. Pelo facto de não seguirem as leis da física devem ser trabalhados de acordo com as leis da probabilidade. Os erros casuais podem ser positivos ou negativos; por vezes tendem a compensar-se mutuamente pelo que também se designam por erros compensados. Na fotogrametria ocorrem estes erros quando se estima entre o menor valor de graduação de uma escala de medida e uma escala indexada.

Existem dois conceitos ligados ao erro, que exprimem a qualidade dos dados geográficos: a exactidão e a precisão. Em Ariza (2002) pode-se encontrar definido o termo exactidão²⁴ como a aproximação dos resultados observados ou medidos, dos cálculos ou estimações aos valores reais (verdadeiros) ou aqueles que se consideram como verdadeiros. Este autor define precisão, do ponto de vista estatístico, como a medida obtida do conjunto dos dados resultantes da repetição de uma mesma medida. A precisão será somente afectada pela componente aleatória, não tendo em conta os sistematismos.

A precisão da cartografia é dada pelo somatório das precisões obtidas nas várias etapas de todo o processo de aquisição: voo fotográfico, triangulação aérea, edição fotogramétrica. Em cada fase pode-se enumerar erros, alguns bem conhecidos e perfeitamente quantificados (calibração da máquina fotográfica, qualidade do filme, precisão do *scanner*, da *plotter*, etc.), outros porém são aleatórios (Berberan, 2003).

Os valores resultantes da aerotriangulação para serem considerados aceitáveis devem estar compreendidos entre os valores da Tabela de critérios definida pela Direcção Geral do Território (DGT) e que variam consoante a escala de voo e do produto cartográfico pretendido Tabela 5.1.

²⁴ Exatidão Posicional – Valor indicador da concordância entre as coordenadas de um ponto obtidas na Cartografia e as correspondentes no terreno obtidas por um método muito rigoroso, que garanta observações o mais exatas possível. O Erro Médio Quadrático pode ser usado para este fim, desde que as observações estejam isentas de sistematismos.

Tabela 5.1 – Valores de precisão para produtos cartográficos. Fonte DGT.

			Escala da Carta / Escala do Voo	1: 1 000 / 1:4 500	1:2 000 / 1:7 500	1:5 000 / 1:15 000	1:10 000 / 1:22 500
Triangulação Aérea	Planimetria		$EMQ_M \leq$	0,06	0,10	0,25	0,40
			O valor do desvio padrão em cada ponto \leq	0,15	0,26	0,60	1,00
			$EMQ_P \leq$	0,06	0,10	0,25	0,40
			O valor do desvio padrão em cada ponto \leq	0,15	0,26	0,60	1,00
			O valor à posteriori do desvio padrão da unidade de peso em M e $P <$	0,10	0,15	0,30	0,40
	Altimetria		$EMQ_Z \leq$	0,07	0,11	0,35	0,60
			O valor do desvio padrão em cada ponto \leq	0,15	0,24	0,75	1,50
			O valor à posteriori do desvio padrão da unidade de peso em Z	0,15	0,20	0,40	0,55
	Diferença entre pontos da TA e pontos de verificação		Desvio planimétrico \leq	0,18	0,30	0,65	1,00
			Desvio altimétrico \leq	0,20	0,35	0,95	1,50

5.4 Triangulação Aérea Com Apoio GPS

O custo elevado da determinação de coordenadas cartográficas para apoio fotogramétrico, levou a uma necessidade de encontrar outros métodos menos dispendiosos. Para tal foi foram realizadas várias técnicas de ensaio, durante o voo fotogramétrico, para aquisição de dados suplementares como intuito de reduzir o número de PF. Porem apenas a triangulação aérea por feixes perspectivos com apoio GPS, veio permitir boas precisões das coordenadas dos centros de projecção, de tal modo que poderiam passar a assumir o papel de PF espaciais (fora do terreno) e assim, o ponto principal das fotos teria coordenadas conhecidas, eliminando teoricamente, o trabalho de campo para determinar as coordenadas objecto dos PF (Brito e Coelho, 2002).

O equipamento utilizado para a aquisição dos dados fotográficos consiste no avião equipado com antena e receptor GPS e uma câmara aérea que registre os instantes de exposição, e uma antena e receptor GPS em terra, posicionados num

ponto de coordenadas conhecidas, designada rede de apoio fotogramétrico²⁵, ou apoiado na rede geodésica nacional²⁶. O voo requer voltas mais largas entre fiadas (de modo ao avião não inclinar muito as asas perdendo assim os sinais de satélite) e a terminação do varrimento da zona a levantar com duas fiadas perpendiculares ao bloco nos seus extremos. Para apoio geodésico são necessários dois PF de campo no início e no fim de cada fiada transversal (já na zona de sobreposição com as fiadas normais), apresentando uma disposição normal para os restantes pontos de ligação à restituição.

O cálculo da triangulação aérea com GPS, difere do método anterior pela integração, no modelo matemático, de um conjunto de equações de observação para cada centro de projecção.

5.5 Triangulação Aérea Automática

Designa-se por triangulação aérea automática ao processo automático de aquisição dos dados primários para o *software* de triangulação aérea permitindo uma redução do tempo necessário à medição das coordenadas foto dos postos de ligação e dos PF, sendo que os mesmos são obtidos de forma automática.

Todas as fotografias da cobertura são processadas em conjunto. O processo de recuperação das orientações é feito analiticamente por triangulação fotogramétrica, sendo que não é visualizado nenhum modelo estereoscópico como no método anterior. Os pontos homólogos são medidos interactivamente ou detectados automaticamente por operadores de correlação.

²⁵ Rede de Apoio Fotogramétrico – Conjunto de pontos coordenados no terreno que servem de referência aos trabalhos de Triangulação Aérea.

²⁶ Rede Geodésica Nacional – Conjunto de todos os vértices geodésicos e das suas relações geométricas, distribuídos pelo país, colocados em posições dominantes de forma a garantir intervisibilidade, devidamente coordenados. Estão monumentalizados através de diversas formas geométricas, como pirâmides ou troncos de cone sobre cilindros (bolembreanas) ou são coincidentes com estruturas já existentes.

5.6 Restituição Fotogramétrica

Após a conclusão do processo de georreferenciação (aerotriangulação) estar concluído e caso seja necessário, é possível passar à fase de restituição, que consiste na aquisição de informação considerada relevante do objecto para uma reconstituição²⁷ a 3D.

Existem diferentes métodos de restituição, sendo que cada um tem associados procedimentos distintos e fins diversos, dos quais se destaca a estereorrestituição, método utilizado na fotogrametria aérea.

Os aparelhos estereorrestituidores (Redweik, 1998) podem ser classificados como:

- Aparelhos analógicos (1901-1950, fotografias em película)
- Aparelhos analíticos (1951-1990, fotografias em papel);
- Aparelhos digitais (1990-dias de hoje, imagens digitais das fotografias do objecto).

Na Tabela 5.2, observa-se a evolução histórica da fotogrametria.

Tabela 5.2 - Histórico da fotogrametria (adaptado de Augusto, 2000).

Fotogrametria	Entrada	Processamento	Saída
Analógica	Foto analógica (em filme)	Analógico (opto-mecânico)	Analógica (1ª fase fotólitos, actualmente digital em ambiente CAD)
Analítica	Foto analógica (em filme)	Analítico (computacional)	Analógica (1ª fase fotólitos, actualmente digital em ambiente CAD)
Digital	Imagem digital (obtida por câmara digital ou por rasterização de foto analógica)	Analítico (computacional)	Digital, possibilitando os mais diversos outputs

Em qualquer dos sistemas é imprescindível a execução dos seguintes passos (Figura 5.1):

²⁷ Restituição Fotogramétrica – Operação de recolha de informação, feita habitualmente em estereorrestituidores, sobre fotogramas.

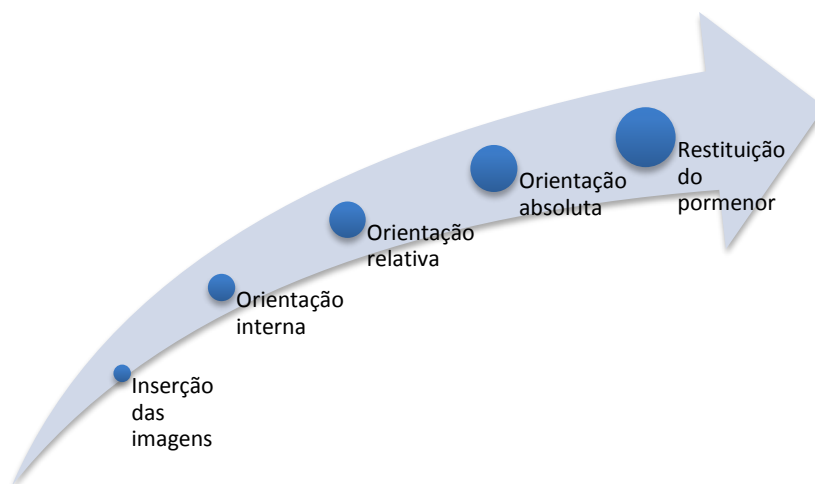


Figura 5.1 - Esquema de operações fotogramétricas.

Segundo Redweik (1998), a restituição analítica dos pares estereoscópicos baseia-se na capacidade humana de ver em estereoscopia. Consiste na medição das coordenadas foto, que pode ser feita recorrendo a monocomparadores ou estereocomparadores, sendo depois processadas através de um modelo matemático que inclui, além das equações relativas à projecção central, todas as equações de correcção das fontes de erro a essa mesma projecção (falta de planicidade do filme, distorções da objectiva, refração da atmosfera, curvatura da Terra, deformações regulares da película), obtendo-se as coordenadas objecto. As coordenadas assim obtidas possuem maior precisão do que as obtidas recorrendo somente à estereoscopia. O cálculo computacional é essencial para, pelo facto de se introduzirem no modelo matemático, diferentes correcções para os inúmeros pontos de cada foto. A precisão das coordenadas objecto dependerá da qualidade do modelo matemático, sendo esta melhor quanto maiores forem as correcções introduzidas, aproximando mais o modelo matemático da realidade física (terreno, câmara, foto). Como resultado obtém-se uma lista de coordenadas tridimensionais dos pontos objecto.

As estações fotogramétricas digitais permitem a restituição digital, sem qualquer componente mecânica, trabalhando com imagens digitais. Além de permitirem à semelhança da restituição analítica, a aquisição de pormenor pelo homem, possuem um *software* de restituição analítica integrando também *software* de processamento

digital de imagem, o que além de tornar possível a restituição digital em si, aumenta o leque de aplicações e o número de operações fotogramétricas que se podem automatizar (sem intervenção humana) como: as orientações (interna, externa e relativa), a triangulação aérea, a criação de modelos digitais de terreno (MDT) e a produção de ortofotos. A precisão dos resultados obtidos está intimamente ligada à qualidade do *scanner* utilizado para a digitalização das fotos ou da câmara digital assim como do modelo matemático implementado e da precisão dos algoritmos de processamento digital de imagem.

6 Modelo Digital do Terreno

6.1 Introdução

O Modelo Digital de Terreno (MDT) é um modelo matemático que representa de forma contínua a superfície altimétrica de um terreno. As coordenadas Z representam os valores da altitude e profundidade num modelo tridimensional que contenha o atributo elevação.

6.2 Técnicas Fotogramétricas *versus* Correlação Automática de Imagens *versus* LiDAR

Em fotogrametria a obtenção de um MDT pode ser feita por dois processos distintos, um processo designado manual e outro automático. No processo manual a aquisição de pontos é realizada em aparelhos restituidores que permitem visão estereoscópica ou actualmente em estações digitais de forma directa ou indirecta.

De forma directa procedendo a uma leitura de coordenadas em modelos estereoscópicos consecutivos, criando uma malha de pontos com intervalos regulares ou não.

De forma indirecta ao criar uma malha regular de pontos extraída de forma automática de um conjunto de pontos formado pelas curvas de nível, pontos cotados e linhas estruturais (*breaklines*), obtidos através de restituição fotogramétrica.

Devido ao modo de aquisição, o processo manual pode ser selectivo, isto porque permite o adensamento de pontos em áreas de interesse e um maior espaçamento noutras, como também uma modelação específica e mais rigorosa de formas lineares como linhas de água, vias de comunicação e outros elementos considerados como estruturais. Este modo de aquisição pode ser realizado em sistemas fotogramétricos analógicos ou digitais.

O processo automático para obtenção de um MDT é realizado em sistemas fotogramétricos digitais, pela computação de similaridades entre imagens sobrepostas devidamente orientadas. É um produto de elevada produtividade e baixo custo quando comparado aos outros dois métodos de aquisição de modelos altimétricos,

porém a sua precisão e fiabilidade face a estes é bastante inferior, estando dependente de três factores principais: da qualidade das fotografias aéreas, do tipo de orografia²⁸ e do tipo de elementos existentes no terreno, podendo a conjugação destes vir mesmo a inviabilizar o produto, ou o mesmo ser considerado razoável dependendo da escala de trabalho.

São detectados automaticamente, um conjunto muito denso de pontos homólogos em pelo menos três fotografias por processos de correlação de imagem. As suas coordenadas 3D são calculadas por intersecção directa e ajustadas no espaço 3D pelo método dos mínimos quadrados. O conjunto dos pontos 3D cria uma nuvem de pontos.

O *Light Detection And Ranging* (LiDAR) surge na aquisição de dados para a produção de modelos digitais do terreno face à necessidade de desenvolver um sistema que colmate as lacunas da fotogrametria aérea (sendo as principais, as limitações horárias de voo, pós-processamento demorado e erros provocados por sombras) o LiDAR surge, então, como tecnologia de futuro alternativa e complementar, sendo um sistema activo de varrimento laser que se baseia na medição directa de distâncias do sensor laser aos pontos no terreno.

Este sistema (Figura 6.1) é constituído por um dispositivo emissor de um feixe de raios laser, um equipamento de navegação inercial (IMU), um sistema de posicionamento GPS e um computador de bordo para registo de dados.

O sistema laser emite um pulso laser que é reflectido em cada ponto da superfície terrestre e captado pelo mesmo. A distância entre o ponto no terreno e o sensor é calculada pela metade do intervalo de tempo medido entre a emissão e a reflexão do feixe multiplicado pela velocidade da luz (Meng et al., 2010).

²⁸ Orografia – Representação do relevo.

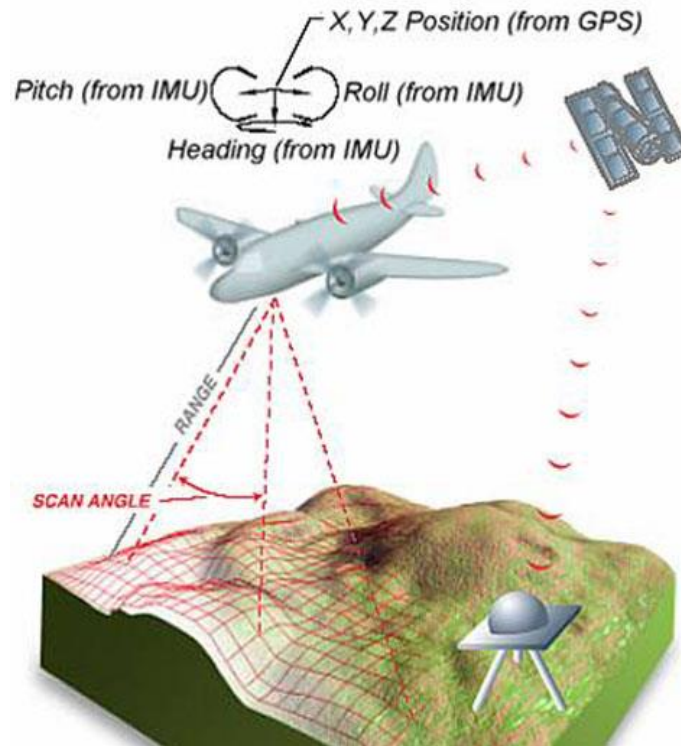


Figura 6.1 – Esquema de dispositivos para aquisição de LIDAR (adaptado de Jensen, 2007).

O sistema é transportado por um avião e combina elevações de superfície com coordenadas planimétricas de grande precisão para extrair várias medidas na sua representação tridimensional. A radiação laser utilizada neste tipo de aplicação, geralmente, tem comprimentos de onda que variam entre os $1064nm$ e os $540nm$ na região do infravermelho, sendo que na região do verde-azul ($532nm$) é usado, principalmente, em levantamentos batimétricos para explorar as capacidades de penetração deste comprimento de onda.

A tecnologia LASER é recente e está em constante desenvolvimento com o objectivo de se tornar mais competitiva neste segmento de mercado. Actualmente esta tecnologia ainda apresenta algumas lacunas, entre estas destacam-se: o elevado custo dos equipamentos; a difícil identificação/classificação de pontos sobretudo em planos de água; má percepção entre diferentes tipos de superfícies (recurso a ortofotos) e precisões altimétricas e planimétricas, ainda abaixo dos valores conseguidos por técnicas análogas. É de assinalar algumas das vantagens que o LiDAR

trouxe: uma mais rápida aquisição e processamento dos dados; a recolha de dados independentemente da fase do dia (dia, noite); uma enorme penetração na cobertura florestal e dado que grande parte do pós-processamento é automático, permite uma maior e constante produção, assim como, menor alocação de mão obra especializada.

Com estes avanços tecnológicos surgem cada vez mais incertezas sobre qual a técnica a que se deve recorrer no caso da obtenção de MDT. Estas incertezas recaem directamente na comparação entre os custos de operação importados à aquisição de fotografia digital versus uma menor precisão apontada aos dados LiDAR. Como se pode verificar na Figura 6.2, as diferenças encontradas, evidenciam qualidades distintas entre estes dois métodos de aquisição de dados. Com isto, poder-se a concluir que a fotografia digital é indicada para trabalhos em que o objectivo seja a produção de ortofotomapas e modelos digitais do terreno, especialmente onde a precisão requerida seja muito rigorosa. Por sua vez a tecnologia LiDAR adequa-se mais a trabalhos para produção de modelos digitais de superfície e recolha de dados topográficos, é de destacar também a grande vantagem da aquisição poder ser efectuada sem qualquer restrição horária.

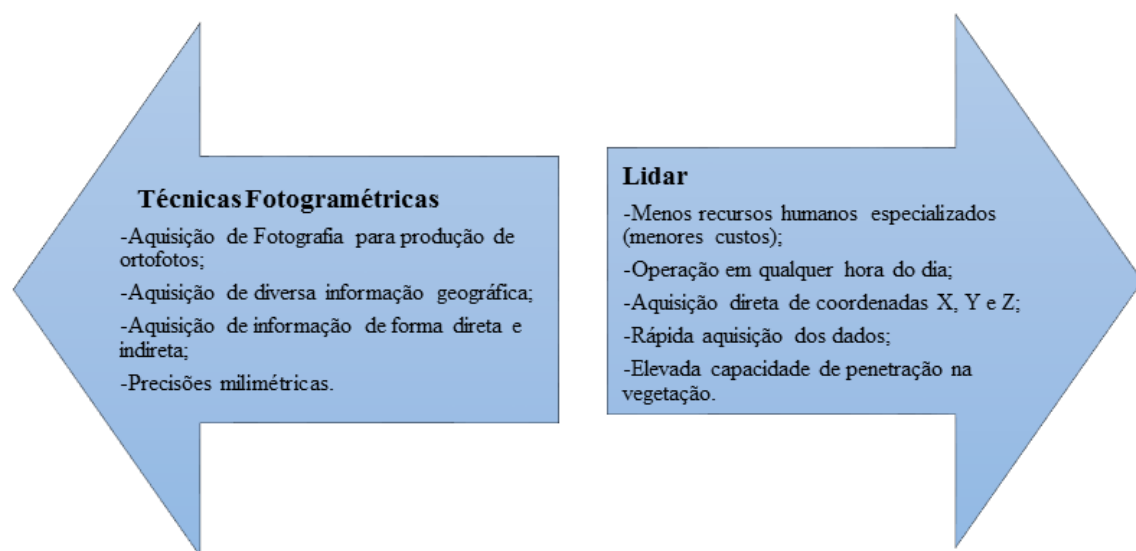


Figura 6.2 – Diferenças entre Técnicas Fotogramétricas e tecnologia LIDAR.

Meng *et al.* (2010), defendem que a técnica LiDAR para recolha de dados primária para um MDT, é consideravelmente melhor que as tradicionais (técnicas fotogramétricas ou correlação automática de imagens) devido a quatro razões:

- A nuvem de pontos LiDAR é densa e permite gerar MDE de alta precisão e resolução;
- É possível extrair as superfícies de objectos, com base na análise do contexto das elevações da nuvem de pontos LiDAR;
- É mais fácil cartografar regiões com pequenas variações texturais, devido à utilização de nuvens densas de pontos;
- É possível identificar as estruturas das copas das árvores, uma vez que os pulsos penetram na vegetação criando múltiplos retornos;

A produção de um MDT a partir de dados LiDAR, adiante designado por MDT LiDAR, é obtido através de um processo automático constituído por 4 etapas principais (Meng *et al.*, 2010):

- Eliminação de erros: Consiste na análise prévia da nuvem de pontos irregularmente espaçada e detecção de *outliers*. Estes erros são provocados por elementos captados entre o sensor e a superfície terrestre, por exemplo: pássaros, aviões ou erros no próprio sensor.
- Reamostragem: Consiste na elaboração de uma grelha regular a partir da nuvem de pontos irregularmente espaçada para facilitar as operações de análise de vizinhança entre pixéis. Isto permite que, para se obter um MDT a partir do MDS, se apliquem algoritmos de filtragem semelhantes aos métodos já existentes para PDI. A elaboração dessa estrutura matricial regular (*raster*) pode ser feita através de diversas operações, como a selecção do ponto mínimo, máximo, média, mediana, entre outras. A desvantagem desta operação é a perda de precisão dos dados ao serem convertidos para uma estrutura matricial.
- Classificação: Esta etapa, também conhecida por filtragem, consiste na separação dos pixéis “terreno” dos pixéis “não terreno” da nuvem de pontos.

- Interpolação: Após a classificação da nuvem em pontos “terreno” e “não terreno”, é necessário realizar a interpolação dos mesmos. Como o número de pontos é elevado, assim como a sua densidade, não é necessário aplicar os melhores métodos de predição como o *kriging*. A escolha deve recair sobre métodos que apresentem melhores performances computacionais.

Os métodos automáticos como a correlação automática de imagem na fotogrametria e a detecção LASER, extraem um modelo Digital de Elevação (MDE) que corresponde a um conjunto de pontos extraídos do terreno sem ter em conta os elementos que foram eliminados durante o processo e seriam parte integrante da superfície gerada.

A densidade de pontos é um factor importante no que diz respeito à qualidade de um MDT. Num método de aquisição fotogramétrico, seja manual ou automático, este espaçamento pode ser teoricamente tão denso quanto a precisão determinada, não esquecendo que o custo operacional relacionado à qualidade desejada é um factor determinante para um espaçamento óptimo.

No caso da correlação de imagem, um espaçamento muito reduzido entre os pontos não faz sentido e função do uso da amostragem de pixéis por vizinhança, assim, o menor espaçamento entre os pontos correlacionados na imagem é em função do tamanho do padrão de amostragem usado na correlação.

Assumindo como padrão de amostragem um quadrado com 5 x 5 pixéis, tendo cada píxel 13 μ m (2.032 dpi), teremos um círculo padrão com diâmetro de 65 μ m. Assumindo o uso de uma câmara aérea com distância focal de 150mm, o GSD (*Ground Sample Distance* - tamanho do píxel no terreno) para este padrão, terá um espaçamento entre pontos (espaçamento em metros) com H sendo a altura de voo.

$$esp = \frac{pad}{f} \times H \therefore \frac{0,000065}{0,15} \times H \therefore \frac{H}{2300} \quad (4.8)$$

Na detecção LASER, o menor espaçamento entre pontos replica a metade da projecção do pulso no terreno. Adoptando como divergência média 1 mrad, o espaçamento em função da altura de voo H é de:

$$esp = \alpha \times H \therefore 0,00005 \times H \therefore \frac{H}{2000} \quad (4.9)$$

Na prática nem a aquisição manual ou a correlação de imagem nem a detecção LASER, têm que possuir um espaçamento tão denso para que o MDT seja utilizável (Baltasvias, 1999), mas como já referido anteriormente a escala e precisão requeridas é que determinam esse mesmo espaçamento.

6.3 Custos versus Tempo de Aquisição de um MDT por Fotogrametria ou LASER.

Os custos da fotogrametria para aquisição de um MDT, depende de forma directa da morfologia do terreno. Assumindo que as fotografias aéreas tinham uso exclusivo a aquisição de MDT, o custo da fotogrametria por km^2 estimar-se-ia o dobro da detecção LASER, isso não acontece porque do voo fotogramétrico resultam inúmeros subprodutos: cartografia, ortofotos.

No caso da detecção LASER, por tratar-se de uma tecnologia recente e ainda não possuir um mercado estabilizado, notam-se ainda grandes divergências nos preços praticados. As formas de cálculo de custos divergem, os preços internacionais variam 90 a 500 \$ / km^2 , em função da dimensão da área, densidade de pontos, tipo de pós-processamento e custos operacionais.

Pode-se concluir que a detecção LASER acrescenta um enorme valor aos processos fotogramétricos, dado que, permite a realização de tarefas como a modelação de terreno com maior rapidez e com menor custo, no entanto não substitui a fotogrametria, esta ainda constitui um elemento de substancial importância (senão essencial) para a produção fotogramétrica.

7 Da Imagem Aérea ao Ortofoto

7.1 Introdução

A experiência e o conhecimento acumulado até então, permitem-me, ao pensar em imagem ortorrectificada conceber uma imagem em perspectiva ortogonal.

As imagens adquiridas por câmaras convencionais representam uma perspectiva central, com inúmeros feixes de luz provenientes de diferentes pontos captados, passando por um só ponto (centro de perspectiva), localizado no sistema óptico da câmara (ilustração a) da Figura 7.1).

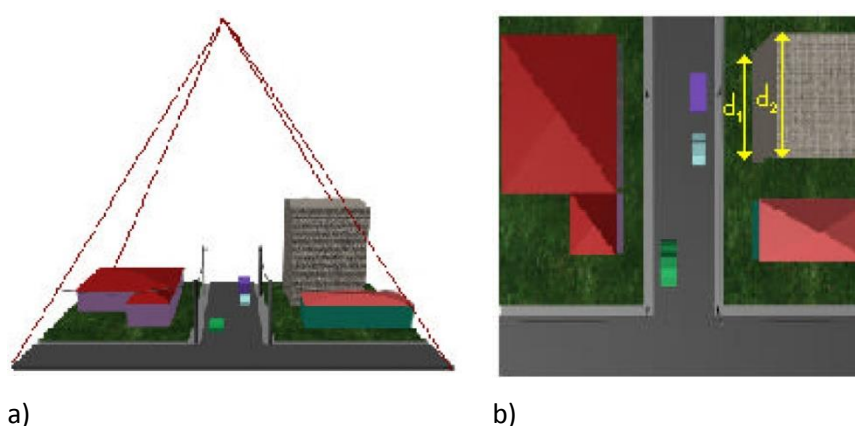


Figura 7.1 - Princípio dos feixes perspectivos que originam uma captura em perspectiva central (adaptado de Z/I Imaging Corporation, 2009).

Uma imagem em perspectiva central (ilustração b) da Figura 7.1) não pode ser assumida como informação com rigor geométrico, dado que a mesma possui erros devido à oscilação do sensor e desvios devido ao relevo, inerentes à perspectiva cônica, é visível a diferença entre as distâncias de um lado do edifício medidas na base ou no topo, que na verdade são iguais.

Numa imagem com projecção ortogonal, são projectados raios ortogonais a partir da imagem fotografada (ilustração a) da Figura 7.2). Os raios nunca se encontram e a imagem resultante não possui quaisquer desvios posicionais nem distorções relativamente ao relevo (ilustração b) da Figura 7.2), podendo ser assumida como produto cartográfico.

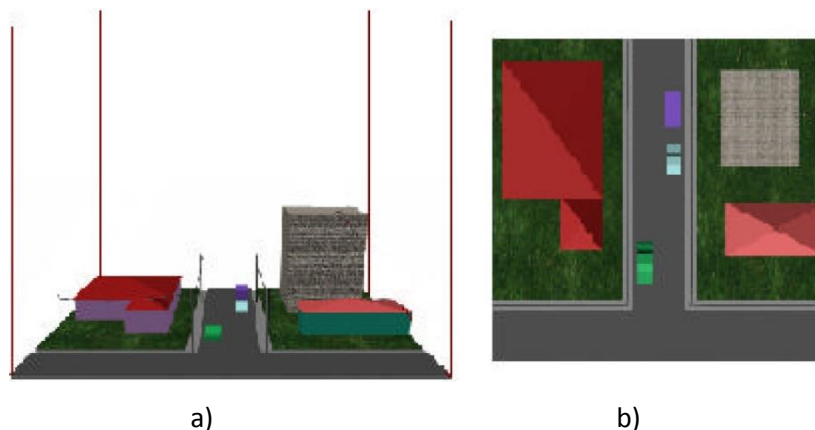


Figura 7.2 - Projecção ortogonal (adaptado de Z/I Imaging Corporation, 2009).

A perspectiva central é aquela que é captada pelo olho humano, a perspectiva ortogonal é um fenómeno artificial, que é consequência de uma transformação realizada nas imagens existentes (em perspectiva central), processo designado como ortorrectificação²⁹. Os primeiros aparelhos capazes de realizar esta transformação eram apelidados de ortoprojectores. Eram aparelhos analógicos que possuíam a capacidade de aproximar ou afastar a fotografia consoante a posição da marca flutuante em relação ao terreno estereoscopicamente observado. No instante em que a marca estava posicionada, em determinada área do terreno, o operador accionava o disparo de um sistema fotográfico que registava a imagem de uma pequena área relativa ao ponto alcançado pela marca, e que tinha definido o afastamento ou aproximação da fotografia. A fusão das imagens de todas estas pequenas áreas captadas formava um fotoplano (designação dada à época). Como todos os outros processos fotogramétricos analógicos era muito moroso e dispendioso, sendo apenas posto em prática em situações de máxima necessidade.

É imperativo fazer a distinção entre rectificação e ortorrectificação, podendo-se dizer que a ultima é um passo em frente, pois além de eliminar as distorções relativas à oscilação da câmara (como também acontece no processo de rectificação), elimina

²⁹ Ortoproleção, Ortorretificação ou Rectificação Diferencial – Processo fotogramétrico que tem como dados de entrada os fotogramas ou imagens orbitais e o MNA do terreno e tem por Objecto gerar imagens com características métricas próprias da Cartografia.

os desvios relativos ao relevo (através da transformação da perspectiva cónica em ortogonal.

7.2 Ortorrectificação

Existem três modelos matemáticos para realizar a ortorrectificação: a transformação afim/polinomial, a projectiva e o modelo mais usado que é a rectificação diferencial.

A transformação afim é usada quando o centro de perspectiva está muito distante da área fotografada (e.g. imagens de satélite), é um método aproximado.

A utilização de uma câmara não calibrada impede a utilização das equações nesta forma, já que não se conhecem os parâmetros característicos da câmara. É possível reescrever as equações, aglomerando várias das variáveis envolvidas, com o seguinte especto (Kraus, 1999):

$$C = \frac{a_1X + a_2Y + a_3Z + a_4}{a_9X + a_{10}Y + a_{11}Z + 1} \quad (4.10)$$

$$L = \frac{a_5X + a_6Y + a_7Z + a_8}{a_9X + a_{10}Y + a_{11}Z + 1} \quad (4.11)$$

Utilizaram-se, agora, as coordenadas imagem em unidades de píxel, coluna e linha (C,L). Os onze parâmetros $(a_1, a_2, \dots, a_{11})$ englobam os elementos da orientação interna e da orientação externa.

Estas equações podem ser utilizadas na orientação e rectificação de fotos de câmaras não fotogramétricas, apresentando a vantagem de facilmente se transformarem em equações lineares (Kraus, 1999). Contudo a sua determinação obriga à utilização de um número elevado de pontos de controlo (um mínimo de 6). Deve, contudo, existir uma redundância razoável de pontos já que o elevado número

de parâmetros poderá permitir que a solução se ajuste bem aos pontos de controlo mas seja deficiente noutros locais mais afastados.

Em áreas onde a variação do relevo é pouco significativa, poderão ser introduzidas algumas simplificações, ou seja, o relevo do terreno pode ser modelado por um plano inclinado, logo as cotas (Z) podem ser expressas em função das coordenadas (X, Y) pela equação do plano na seguinte forma:

$$Z = \alpha X + \beta Y + \gamma \quad (4.12)$$

em que α , β e γ são constantes que caracterizam o plano. Substituindo esta expressão na equação x e agrupando algumas das variáveis envolvidas podemos escrever as equações na seguinte forma:

$$C = \frac{b_1 X + b_2 Y + b_3}{b_7 X + b_8 Y + 1} \quad (4.13)$$

$$L = \frac{b_4 X + b_5 Y + b_6}{b_7 X + b_8 Y + 1} \quad (4.14)$$

Os coeficientes (b_1, b_2, \dots, b_8) são calculados a partir dos coeficientes das equações x e y . Esta transformação designa-se por transformação projectiva e modela matematicamente, de forma exacta, a formação de uma fotografia de um objecto plano. Estas equações serão adequadas para a rectificação de fotografias de áreas que possam ser admitidas como planos inclinados. A orientação de uma fotografia requer um mínimo de 4 pontos de controlo para determinar os coeficientes (b_1, b_2, \dots, b_8) . Para um dado ponto de controlo, i , as equações podem ser escritas como equações lineares, na seguinte forma:

$$C_i = b_1 X_i + b_2 Y_i + b_3 - C_i b_7 X_i - C_i b_8 Y_i \quad (4.15)$$

$$L_i = b_4 X_i + b_5 Y_i + b_6 - L_i b_7 X_i - L_i b_8 Y_i \quad (4.16)$$

Ou ainda na forma matricial:

$$\begin{bmatrix} C_i \\ L_i \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_i & Y_i & 1 & 0 & 0 & 0 & -C_i X_i - C_i Y_i \\ 0 & 0 & 0 & X_i & Y_i & 1 & -L_i X_i - L_i Y_i \end{bmatrix} \cdot B \quad (4.17)$$

em que B representa o vector coluna dos parâmetros (b_1, b_2, \dots, b_8) . Para 4 pontos de controlo obtém-se um sistema de 8 equações lineares. Para um número de pontos superior o problema é resolvido pelo método dos mínimos quadrados, fornecendo resíduos que permitem avaliar a precisão da solução.

Uma vez conhecidos os parâmetros de orientação de uma foto, as equações podem ser usadas para projectar pontos do espaço objecto para a imagem e assim fazer a reamostragem da imagem original para uma imagem rectificadas e georreferenciada. Este processo apresenta a vantagem de dispensar a utilização de um modelo digital do terreno que descreva a forma da superfície.

A rectificação diferencial é o método mais usual e também aquele que devolve melhores resultados.

O princípio da rectificação diferencial consiste na manipulação geométrica de imagens para extracção de informação espacial, recorrendo a equações que transformam coordenadas de pontos expressas num sistema de referência geográfica para coordenadas imagem. No caso alvo de estudo, por se tratar de uma projecção central, utilizam-se as equações de colinearidade, que se exprimem da seguinte forma:

$$x = x_0 - f \frac{m_{11}(X - X_C) + m_{12}(Y - Y_C) + m_{13}(Z - Z_C)}{m_{31}(X - X_C) + m_{32}(Y - Y_C) + m_{33}(Z - Z_C)} \quad (4.18)$$

$$y = y_0 - f \frac{m_{21}(X - X_C) + m_{22}(Y - Y_C) + m_{23}(Z - Z_C)}{m_{31}(X - X_C) + m_{32}(Y - Y_C) + m_{33}(Z - Z_C)} \quad (4.19)$$

em que (x, y) e (X, Y, Z) são respectivamente as coordenadas fotográficas e as coordenadas terreno de um dado ponto, P , (x_0, y_0) são as coordenadas fotográficas do ponto principal e f é a distância focal. As restantes variáveis dizem respeito à orientação externa e descrevem a posição e atitude da câmara no momento de

aquisição da imagem: (X_c, Y_c, Z_c) representam a posição da câmara (ilustração a) da Figura 7.3). A matriz (m_{ij}) é uma matriz de rotação calculada a partir dos 3 ângulos de rotação entre o sistema de coordenadas do terreno e o sistema fotográfico. No tratamento de imagens digitais as coordenadas da imagem poderão ser expressas em unidades de píxel, desde que a distância focal seja também expressa nessas unidades (ilustração b) da Figura 7.3).

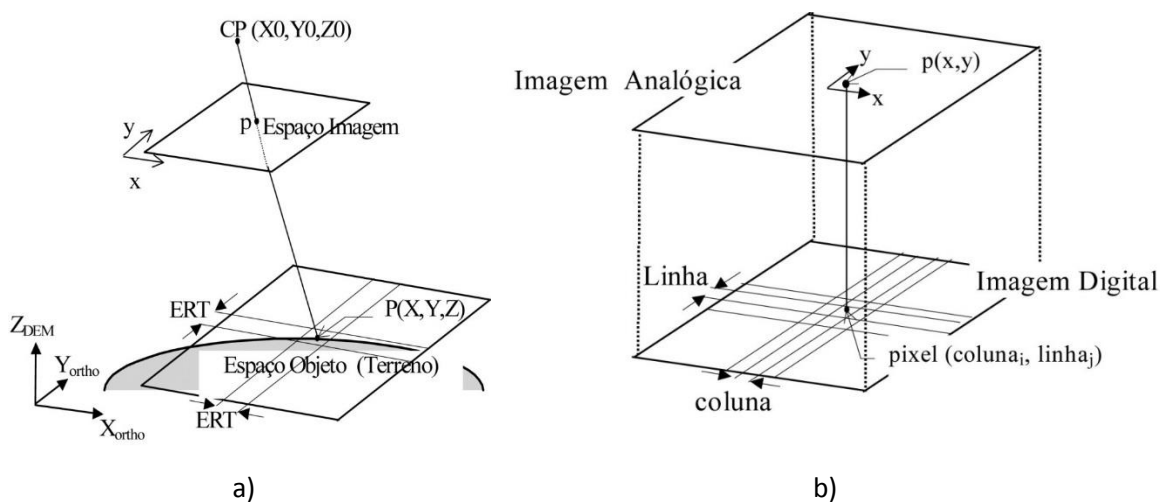


Figura 7.3 - Princípio da rectificação diferencial (adaptado de Lillesand, Kiefer, 2000).

As equações de colineariedade são utilizadas no processo fotogramétrico de restituição, isto é, na determinação de coordenadas tridimensionais a partir de pares de imagens estereoscópicas. São também estas as equações utilizadas no processo de ortorectificação.

O princípio da rectificação diferencial consiste em transferir os *digital number* da fotografia aérea para uma grelha regular que representa a projecção ortogonal do terreno corrigindo as deformações da imagem inicial usando os parâmetros das orientações interna e externa (aerotriangulação) e um modelo numérico do relevo ou MDT. O MDT, é geralmente composto de uma malha de pontos, adquirida por processo estereoscópico, processo automático ou com recurso a um sensor laser. São também introduzidas linhas de descontinuidade como: linhas de água, rede viária, muros de suporte, etc...

Concluído o processo de ortorrectificação, o produto obtido designa-se por ortofotografia³⁰ (ortofoto), que é a fotografia aérea rectificada (ilustração b) da Figura 7.4), com escala uniforme, onde os deslocamentos de paralaxe devido ao relevo e inclinação foram removidos das fotografias. Os objectos passam a estar representados numa projecção ortogonal, possuindo as características geométricas de um mapa, mas possuindo toda a informação contida na fotografia original (ilustração a) da Figura 7.4).

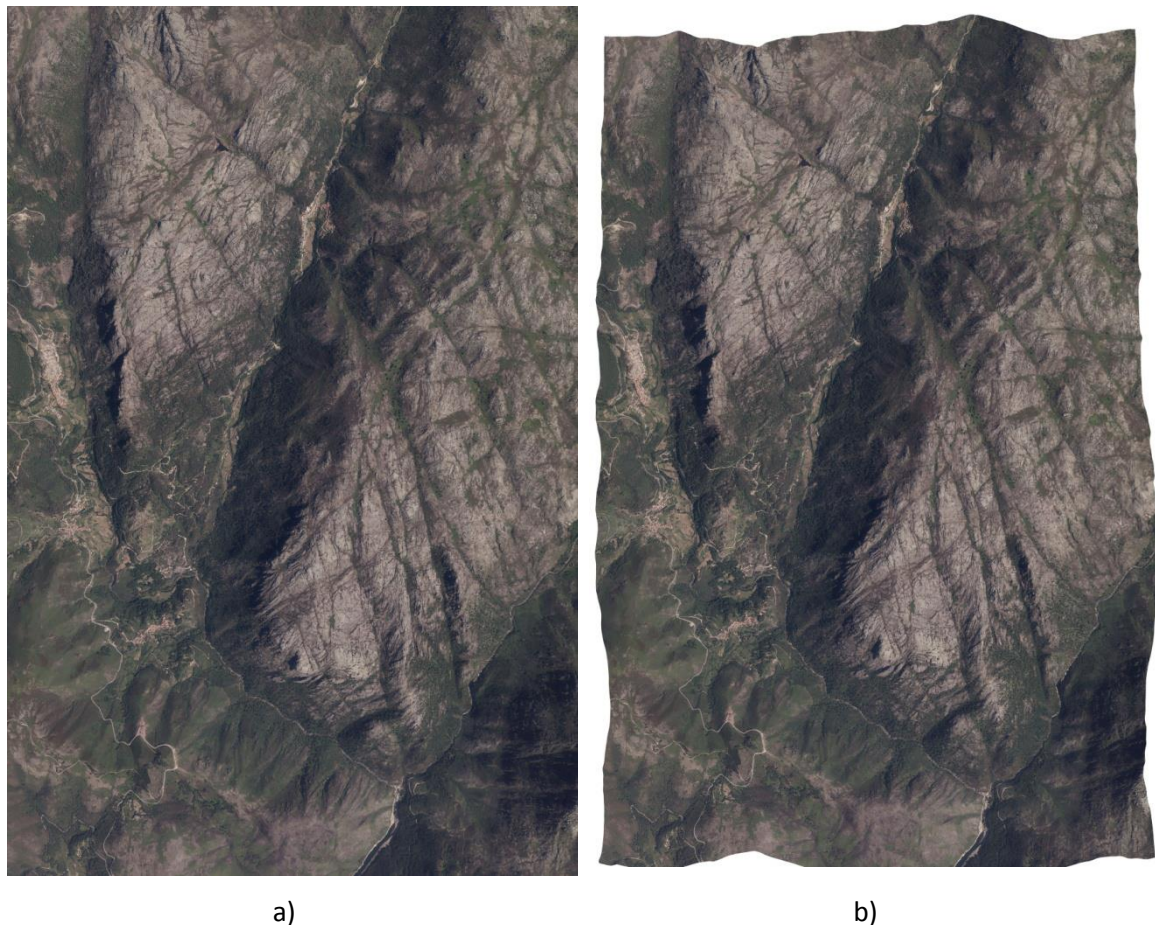


Figura 7.4 – Fotografia aérea original versus fotografia aérea rectificada

De uma forma directa pode-se dizer que para a produção dos ortofotos é necessário conhecimento prévio sobre os parâmetros de aquisição da cobertura aérea,

³⁰ Ortofotocartografia – Cartografia baseada em imagens aéreas ou orbitais ortoprojectadas, onde predomina a informação imagem em detrimento da informação vectorial. A planimetria consiste na própria imagem do terreno.

(orientação da câmara, posição espacial da imagem), actualmente o projecto resultante da aerotriangulação já congrega todos estes parâmetros. Previamente é também necessário realizar a edição do MDT a fim de eliminar elementos que sejam susceptíveis de causar distorções nos ortofotos. O produto final é uma fotografia georreferenciada no sistema de coordenadas pré-definido.

7.3 Produção e Edição de um Ortofotomapa

O ortofotomapa³¹ consiste numa nova imagem resultante da fusão de todos os ortofotos necessários ao preenchimento de toda a área de estudo. As fusões são feitas ao longo de linhas de junção (*seamlines*), que são geradas previamente através de correlação automática de similaridades do ND de píxel, entre imagens sobrepostas e devidamente orientadas. No entanto o produto obtido pode não corresponder inteiramente as características naturais e contínuas do terreno (Figura 7.5). Nestes casos impõem-se o equilíbrio radiométrico para evitar a discrepância de tons e luminosidade entre os ortofotos. Estas diferenças devem-se principalmente à diferença de luminosidade e inclinação solar que se vai registando ao longo do período de voo

Em determinadas situações o produto obtido também apresenta alguns erros de junção, em que resulta no desaparecimento parcial ou total de alguns objectos existentes no terreno, ou uma deficiente escolha do ortofoto a usar em determinada área, sendo estes erros corrigidos com a manipulação das *seamlines*, em ambiente CAD.

³¹ Ortofotomapa – Folha de uma série Ortofotocartográfica.

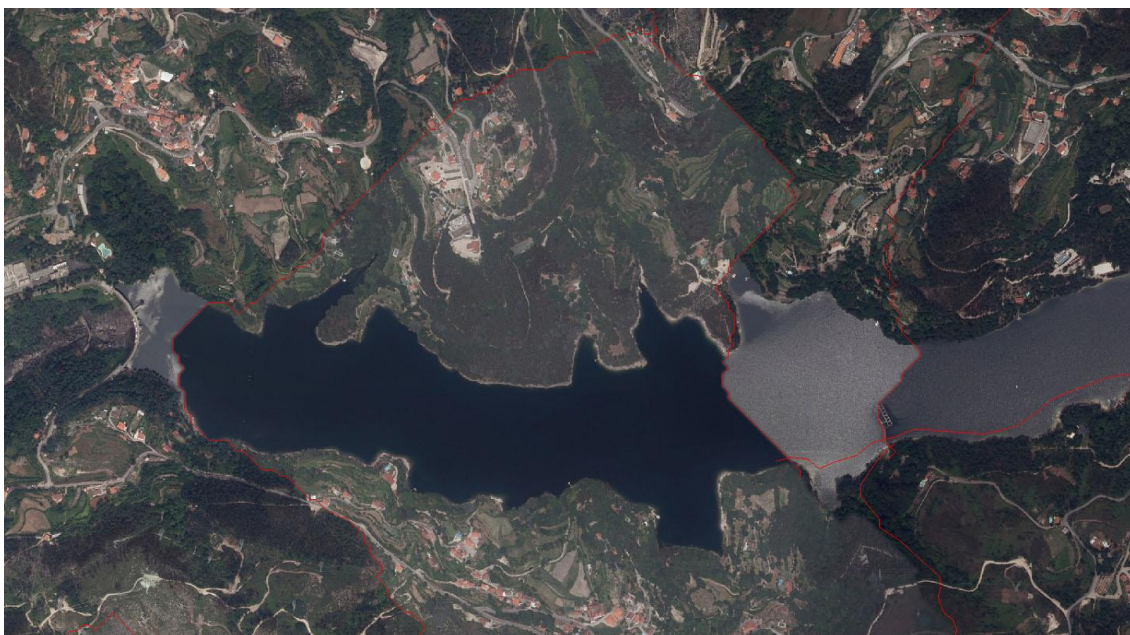


Figura 7.5 - Ortofotomapa sem edição de *seamlines* e correcção radiométrica.

8 Projecto de Elaboração de Ortofotomapas

8.1 Introdução

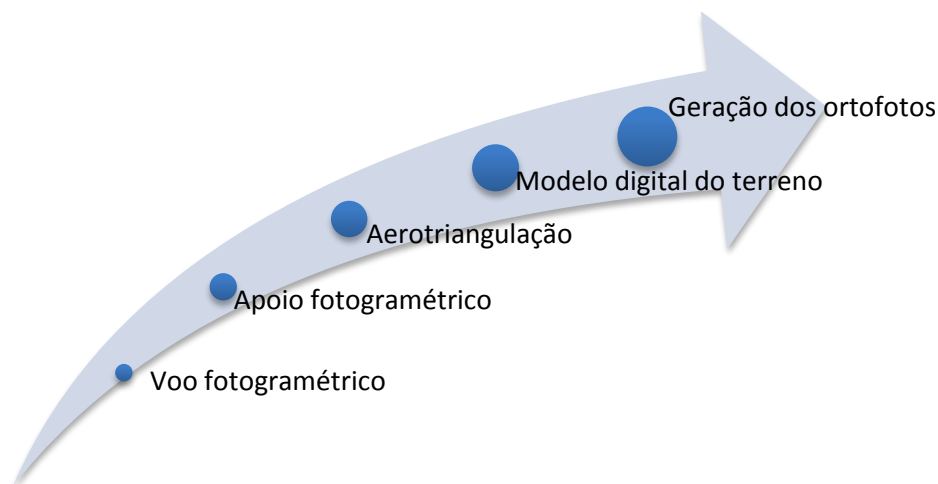


Figura 8 - Esquema de operações para elaboração de ortofotos.

A componente prática teve como objectivo efectuar na íntegra todo o processo fotogramétrico com o objectivo de produzir um ortofotomapa (Figura 8).

A grande maioria das práticas foram realizadas com recurso a aplicações da Z/I Imaging, empresa derivada da fusão comercial entre a norte americana Intergraph e a alemã Carl Zeiss, que tem como missão o desenvolvimento de soluções de geoprocessamento, fotogrametria e processamento de imagens digitais. No seu leque de aplicações tem disponíveis todas as ferramentas necessárias à realização dos diversos produtos cartográficos, constituindo-se como uma das mais adoptadas pelas empresas do sector a nível global.

É de evidenciar que as opções seleccionadas nas várias fases e nas diversas aplicações usadas no decorrer do processo da componente prática, foram escolhidas pela experiência e conhecimento adquiridos pelo discente ao longo do seu percurso profissional no decorrer das últimas duas décadas.

A área de estudo escolhida para desenvolver este trabalho foi a área da Marina de Albufeira.

O planeamento de voo (Figura 8.1) foi efectuado com o *Airborne Sensor Management (ASMS)*, que é o *software Intergraph* utilizado para planeamento de voo com as câmaras DMC.

Com recurso a referências retiradas da Cartografia 1:25 000 elaborou-se o planeamento de fiadas, tendo, sempre, como referência, o estipulado no item Plano de Voo das Cláusulas Técnicas do Caderno de Encargos.

A análise para definição dos rumos de voo foi feita tendo em atenção uma análise tridimensional, porque se o enquadramento bidimensional garante a conformidade de cobertura tendo como referência o enquadramento da carta militar 1:25 000, as sobreposições laterais e longitudinais, para as altitudes ao solo previstas, terão que ser garantidas tendo em conta as variações orográficas ao longo de cada fiada, bem como, das fiadas na sua vizinhança.

Sendo que a altura de voo, tendo em conta a escala de representação da cartografia, tinha que assegurar uma resolução geométrica média no terreno por imagem, de valor igual ou menor à constante no caderno de encargos do cliente (15cm), o mesmo realizou-se por forma a obter um GSD inferior a 12cm.

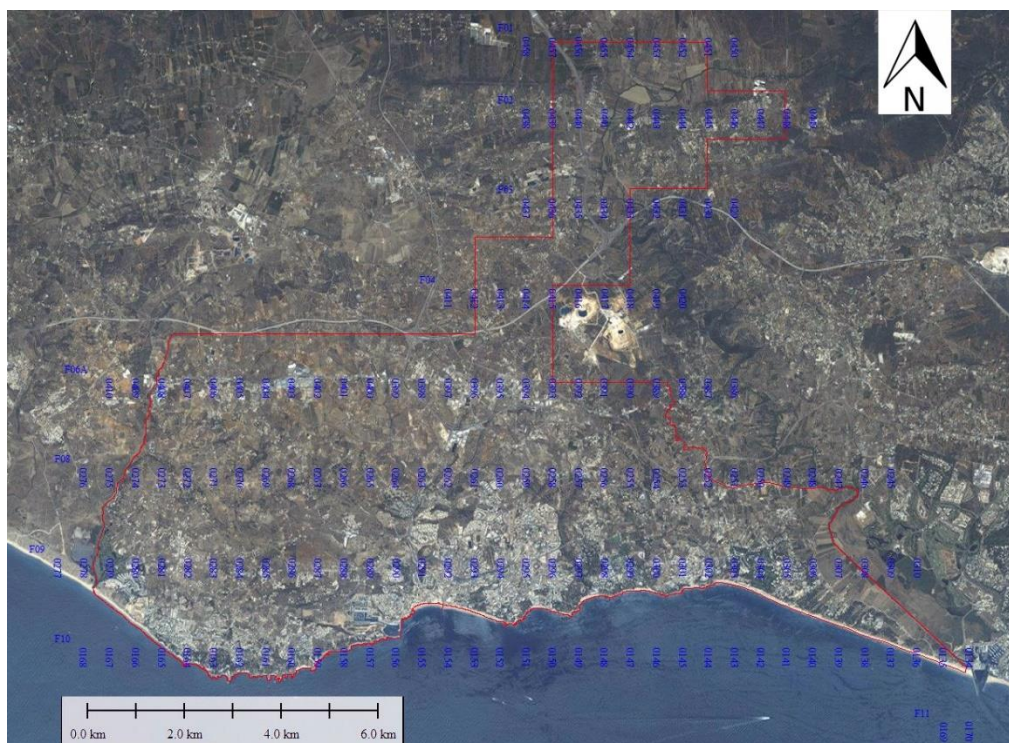


Figura 8.1 - Visualização do plano de voo da área de estudo (Google Earth)

O levantamento fotogramétrico ocorreu a 29 de Junho de 2015 cerca das 14 horas, dia em que não existiam inconvenientes atmosféricos para a sua realização, como: existência de nuvens, neblina, poeira ou fumos sobre a área a cobrir e a altura do sol durante a exposição era inferior a 30 graus.

A câmara fotogramétrica utilizada na componente prática foi a já referida anteriormente, a DMC01-0129, que integra um sistema GPS/Inercia da *Applanix*, modelo AV510, com uma excelente precisão média e parâmetros de orientação externa de grande precisão.

A altura média de voo foi de aproximadamente 1274 metros, tendo em consideração que a altitude é em relação ao sistema de referência (WGS84). As fotografias capturadas, 202 imagens, têm uma sobreposição longitudinal igual ou superior a 70% e a sobreposição lateral entre fiadas adjacentes é superior a 40%.

8.2 Pós -Processamento do Voo Fotogramétrico

Concluído o voo e já em gabinete procedeu-se à conversão do formato e uma manipulação inicial das propriedades da fotografia: histogramas, brilho, contraste, tarefa executada com recurso à aplicação *Leica Geosystems Calibration Post Processing* (Figura 8.2).

Optimizado, o processo decorre de forma automática para todas as fotografias seleccionadas, transpondo-as do formato inicial, RAW, para *Tagged Image File Format*, i.e., formato TIFF (*.tif), com uma resolução radiométrica de 8 bits para cada canal, escolhendo JPEG como método de compressão com factor Q de valor 1 e criando um conjunto de pirâmides de visualização (*overviews*).

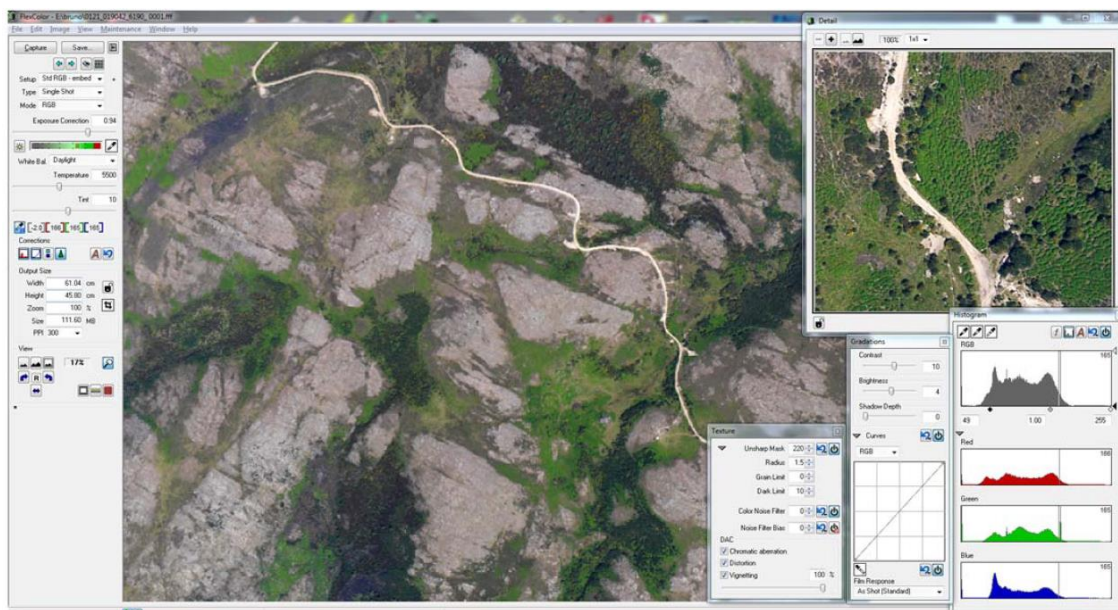


Figura 8.2 - Edição das propriedades da fotografia na aplicação *Leica Geosystems Calibration*
Post Processing

8.3 Aquisição do Apoio Fotogramétrico

Para a coordenação dos pontos fotogramétricos utilizou-se como apoio a Rede Geodésica Nacional (RGN) da DGT, utilizando técnicas de posicionamento por satélite, de acordo com as precisões exigidas para a escala dos elementos cartográficos a produzir.

A escolha da distribuição do apoio fotogramétrico teve em especial atenção os cantos do bloco e o interior da área coberta, com uma densidade aproximada de 1 ponto por cada 20 modelos estereoscópicos, tendo sido também, coordenado 1 ponto fotogramétrico de verificação por cada 50 modelos estereoscópicos, que não fizeram parte da aerotriangulação, mas serviram para verificar e validar a mesma após a sua conclusão.

A exactidão posicional para o apoio fotogramétrico à escala de trabalho 1:2 000 é de 8 cm, sendo que, o erro máximo admissível para 90% dos pontos tem que ser inferior a essa exactidão planimétrica. A Figura 8.3 ilustra a localização do apoio fotogramétrico.

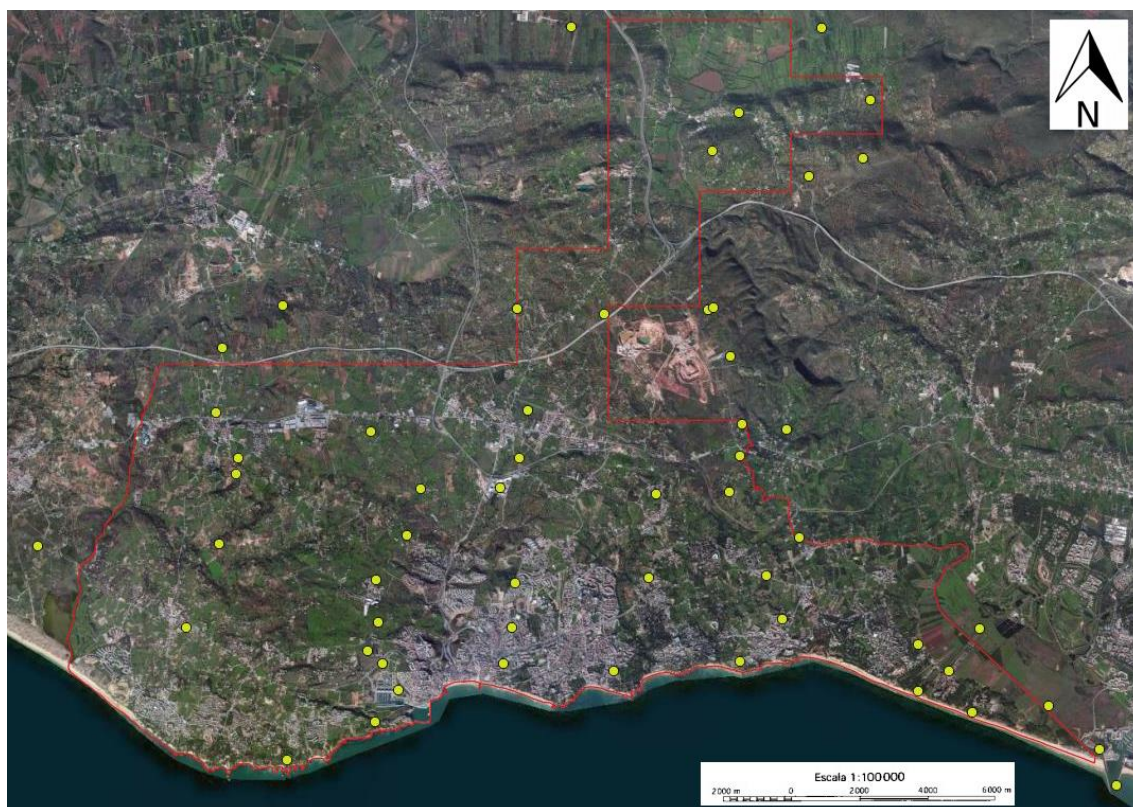


Figura 8.3 - Localização do apoio fotogramétrico

8.4 Aerotriangulação

O processo de aerotriangulação é realizado na aplicação *Image Station Automatic Triangulation (ISAT)* da *Intergraph*, tem o seu início com a criação do projecto (Figura 8.4), atribui-se uma designação e a respectiva localização, seguindo-se o foco do trabalho em si, fotografia aérea e o formato de escrita e armazenamento dos ficheiros que compõem o projecto, neste caso ASCII.

Nas definições do projecto são indicadas a altura média do voo bem como a elevação média do terreno, a certeza destes valores é bastante importante pois deles depende, um posterior cálculo automático correcto, dos pontos de passagem e ligação, fase que será abordada mais adiante.

Como indicadores de concordância do ajustamento absoluto, é necessário indicar o RMS (erro médio quadrático), assim como, o resíduo máximo admissível, esta escolha está relacionada com a precisão imputada à escala do trabalho. Estes dados são meramente indicativos e não interferem no ajustamento do trabalho.

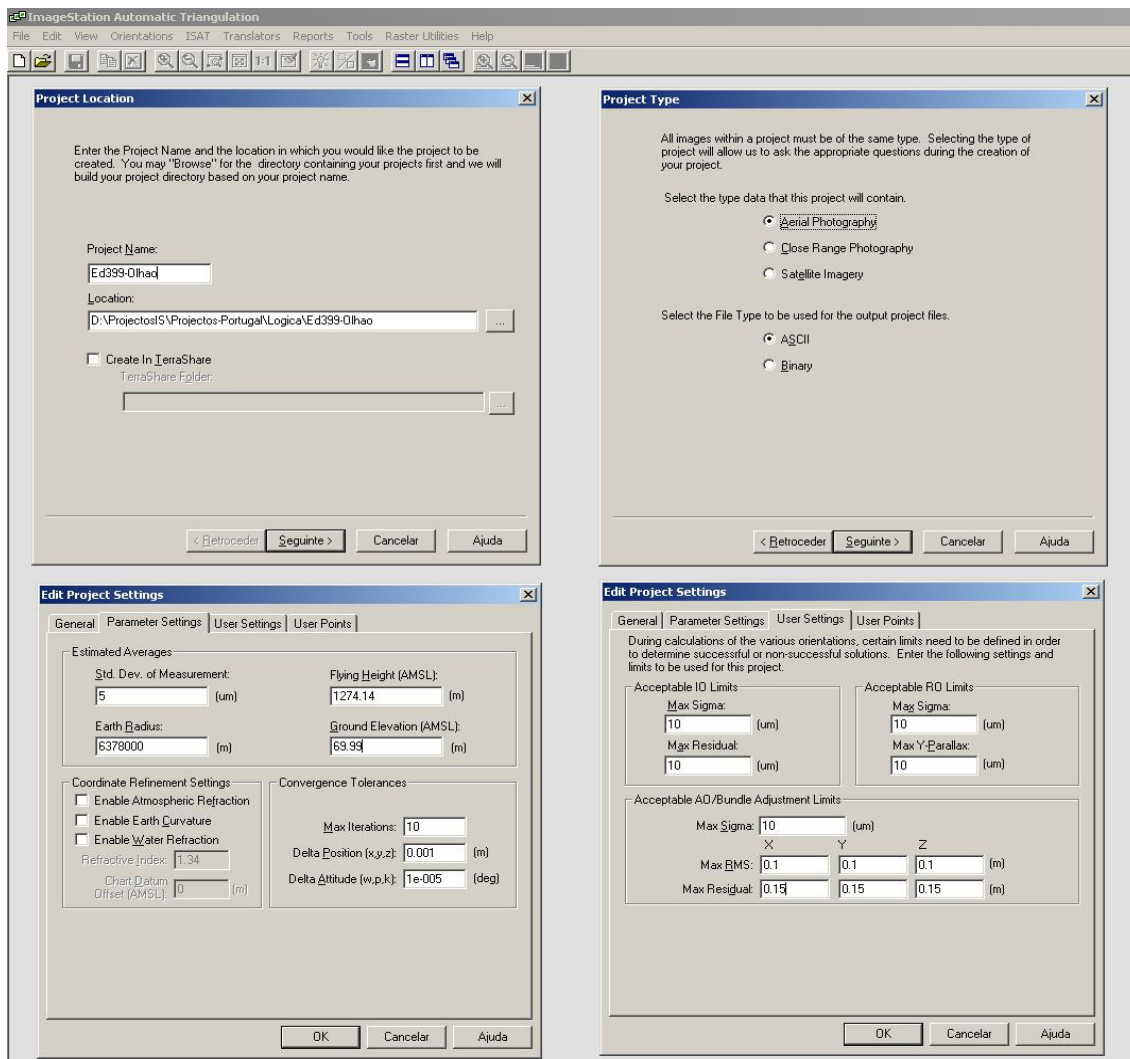


Figura 8.4 - ISAT na fase de criação do projecto de aerotriangulação.

Todos os projectos de aerotriangulação têm de estar associados a um sistema de coordenadas. É absolutamente elementar que esta opção esteja correctíssima, caso o sistema pretendido não conste na biblioteca existente na aplicação, o mesmo pode ser definido de forma manual. Para tal são indicadas as unidades do sistema, a sua projecção, caso o trabalho seja em coordenadas cartográficas, neste caso, *Transverse Mercator*, o *datum* planimétrico associado ao trabalho é o *Datum 73*, e o datum vertical escolhido foi o EGM96³². Fica assim concluído a definição do sistema de coordenadas (Figura 8.5).

³² O Datum 73 foi estabelecido na década de 1970. Actualmente encontra-se obsoleto e foi substituído desde 2006 para o Território Continental, pelo sistema PT-TM06-ETRS89. No entanto este era o requerido no CE do projecto usado para o caso de estudo.

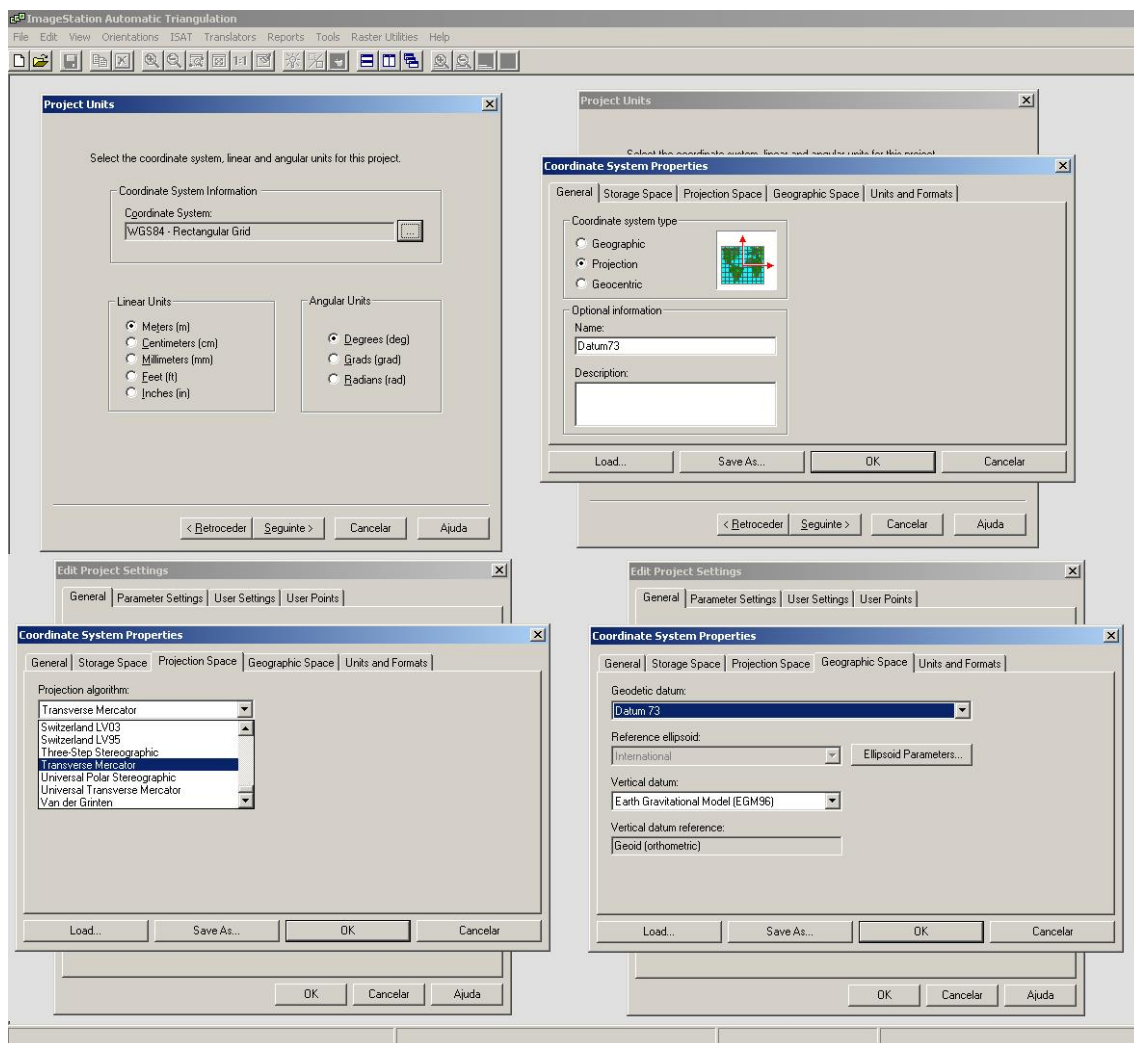


Figura 8.5 - ISAT na fase definição do sistema de coordenadas do projecto de aerotriangulação.

O passo seguinte, é o de criar/configurar o ficheiro relativo às definições da câmara, ao qual todos os centros de projecção das fotografias aéreas vão ser associados. Ao contrário da configuração do sistema de coordenadas onde há uma certa flexibilidade na escolha dos parâmetros, neste campo, todos os dados tem de ser exactamente os mesmos que constam no certificado de calibração da câmara e reportado pelo fornecedor do voo.

Assim, é necessária a distância focal, os pontos da melhor simetria e de autocolimação, a indicação como foi escrita a imagem digital pelo *software* aquando da sua captura, dimensão das imagens, ou seja, número de linhas e colunas, dimensão

do píxel e coeficientes de distorção da lente da câmara para serem usados na sua correcção como exemplificado na Figura 8.6.

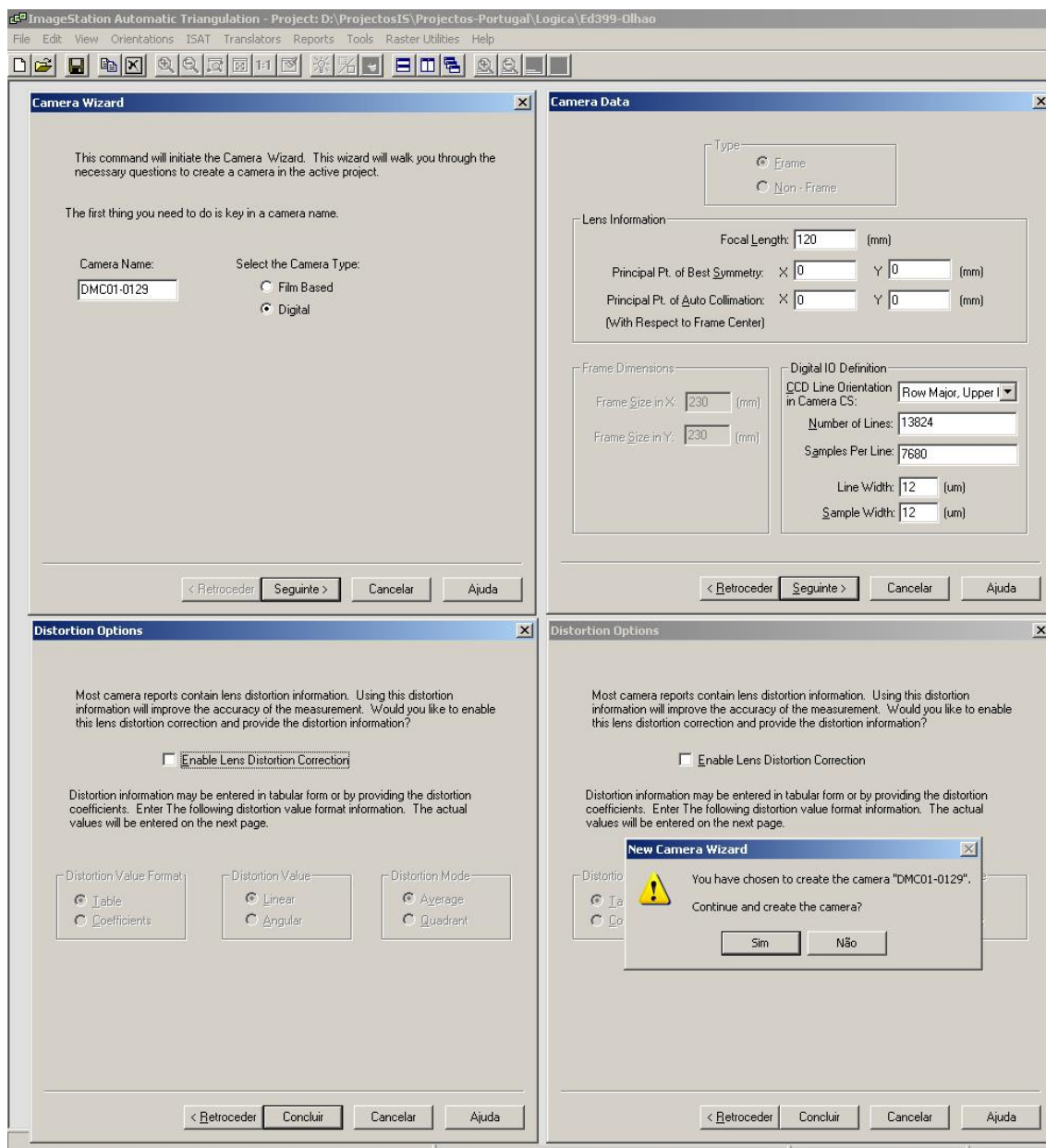


Figura 8.6 - ISAT na fase de definição dos parâmetros da câmara usada no voo fotogramétrica.

Uma vez definidos o sistema de coordenadas e os parâmetros da câmara, é necessário importar os centros de projecção de cada fotografia aérea, os *Position External Orientation* (POSEO) ou seja, os pontos de tomada da fotografia para os centros de projecção.

É conveniente importar os dados Tempo-GPS, do momento em que a imagem foi capturada, pois estes irão contribuir para uma melhor escolha dos parâmetros de ajustamento. Bastando verificar esses dados fornecidos junto com o voo e associa-los aos respectivos campos e guardar a acção (Figura 8.7).

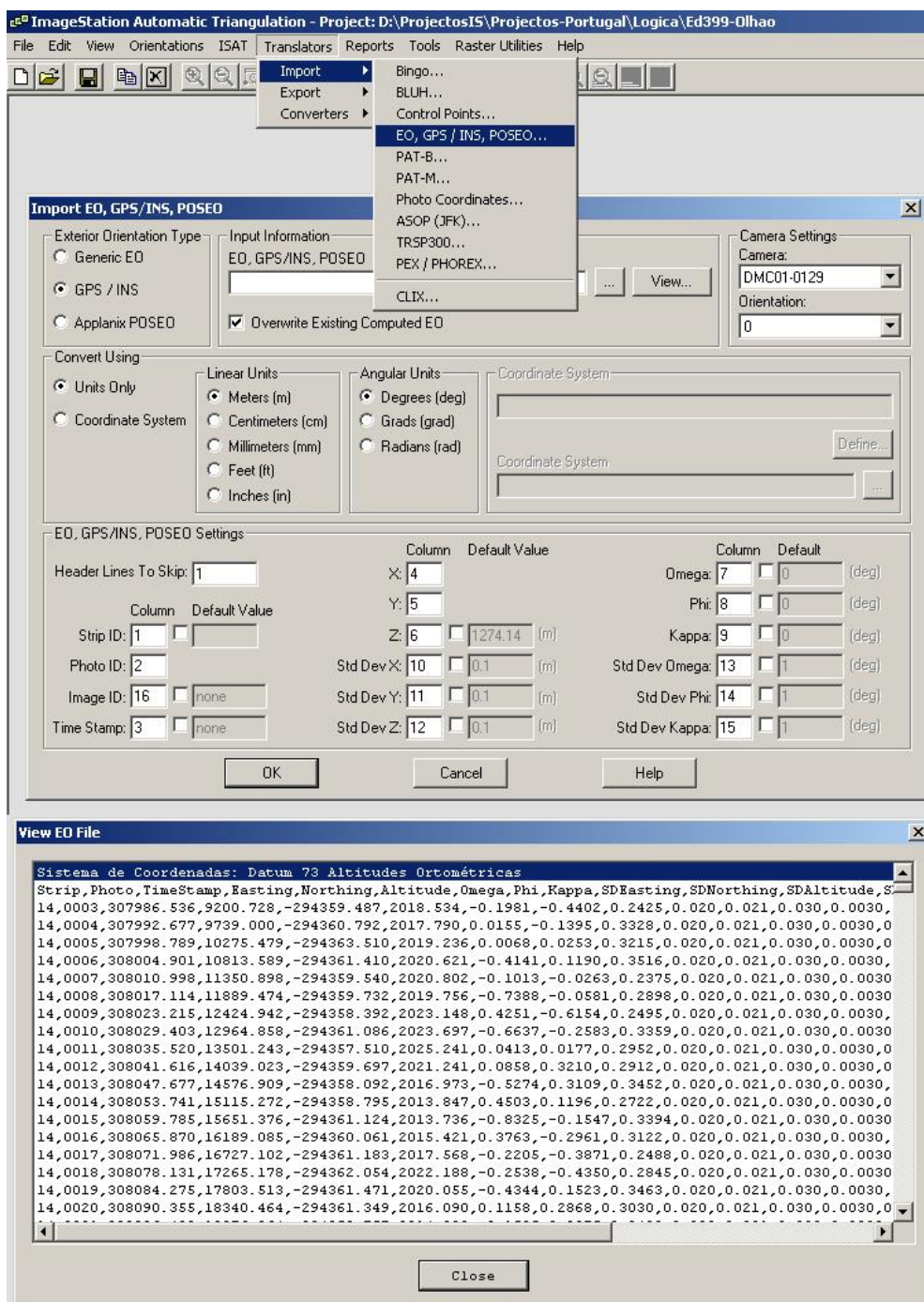


Figura 8.7 - ISAT no momento de importação dos POSEO e Tempo-GPS para projecto de aerotriangulação.

Importados os POSEO, é o momento de importar os pontos de apoio existentes na área de voo, bastando indicar o campo à coluna no ficheiro que contem a informação do apoio como ilustrado na Figura 8.8.

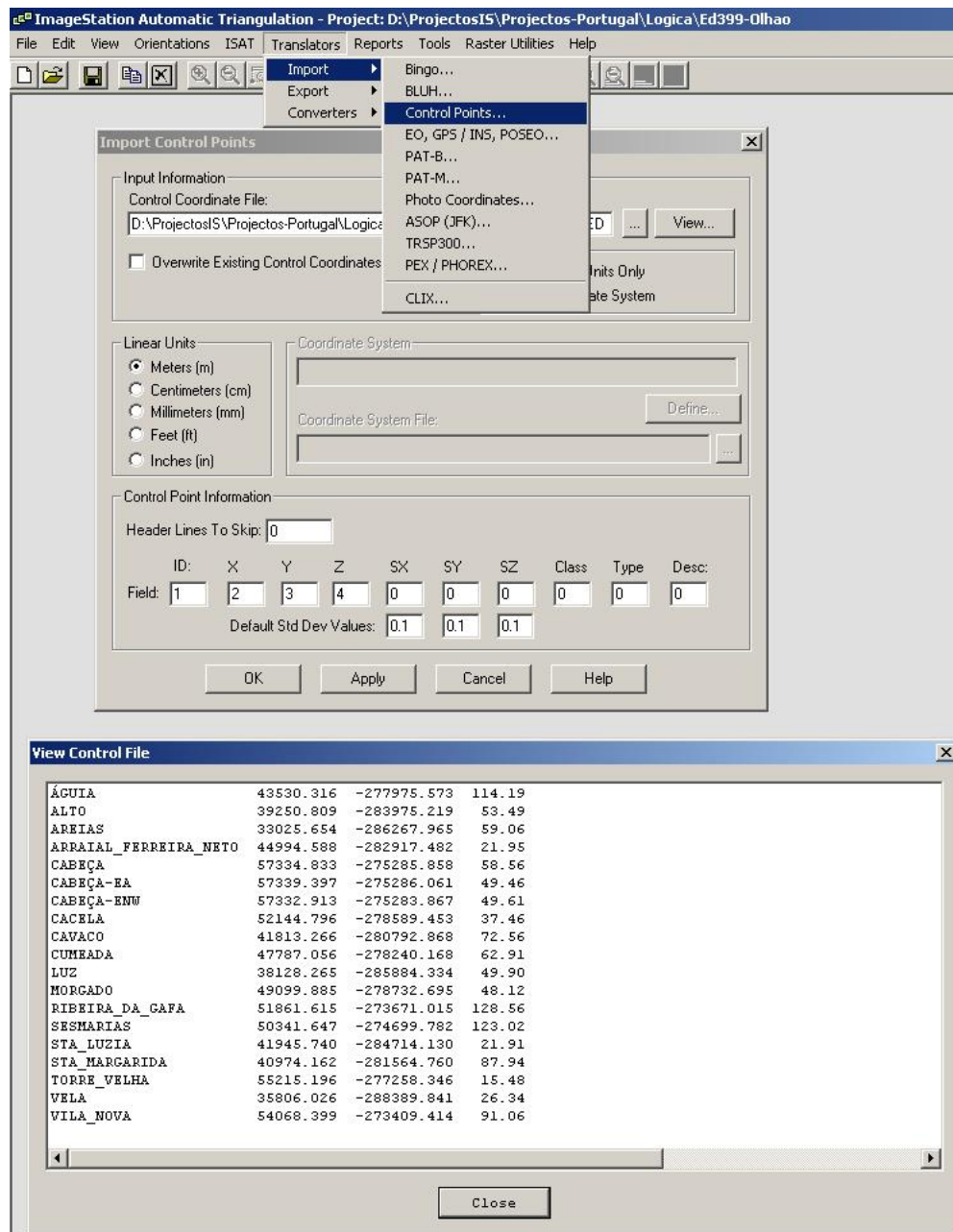


Figura 8.8 - ISAT no momento de importação dos pontos de apoio para projecto de aerotriangulação.

Para validar a importação dos POSEO e dos pontos de apoio e a sua coerência, recorre-se uma ferramenta que permite fazer essa análise de forma visual e que se designa “Footprint Viewer” (Figura 8.9).

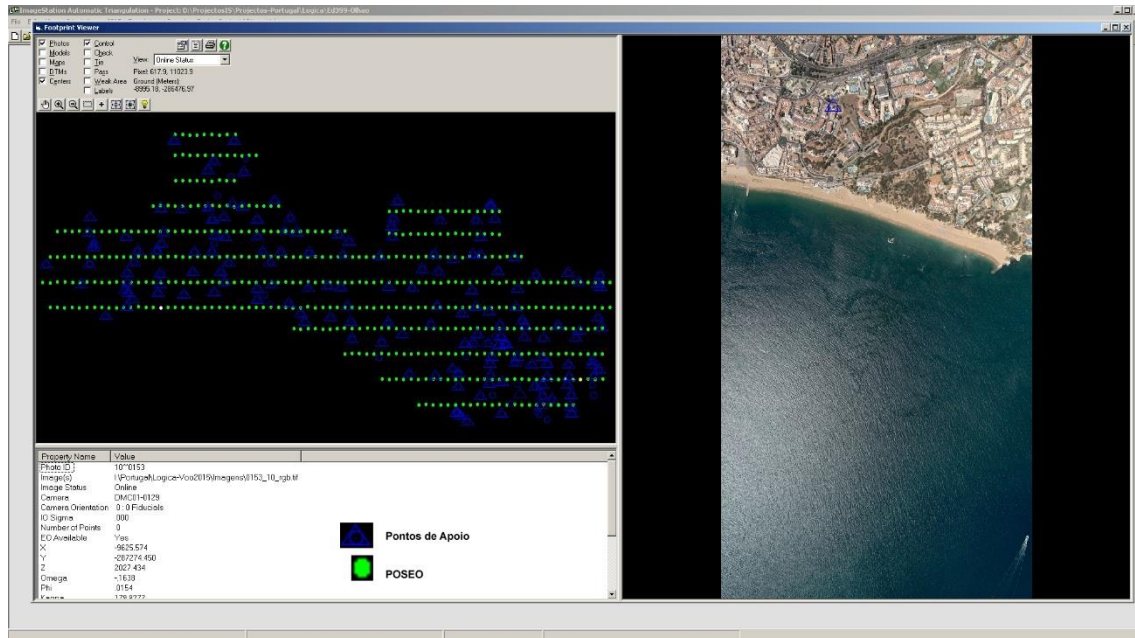


Figura 8.9 - ISAT na validação da posição dos POSEO e pontos de apoio.

Após a configuração dos diversos parâmetros, inicia-se a fase mais automática de todo o processo da aerotriangulação, de modo a obter a orientação relativa entre imagens. Este passa por criar de forma automática pontos de ligação e de passagem nas zonas de modo que todas as imagens estejam interligadas (Figura 8.10).

Quando terminado, é possível percorrer vários campos para verificar a qualidade do ajustamento bem como os resíduos associados a cada ponto (Figura 8.13).

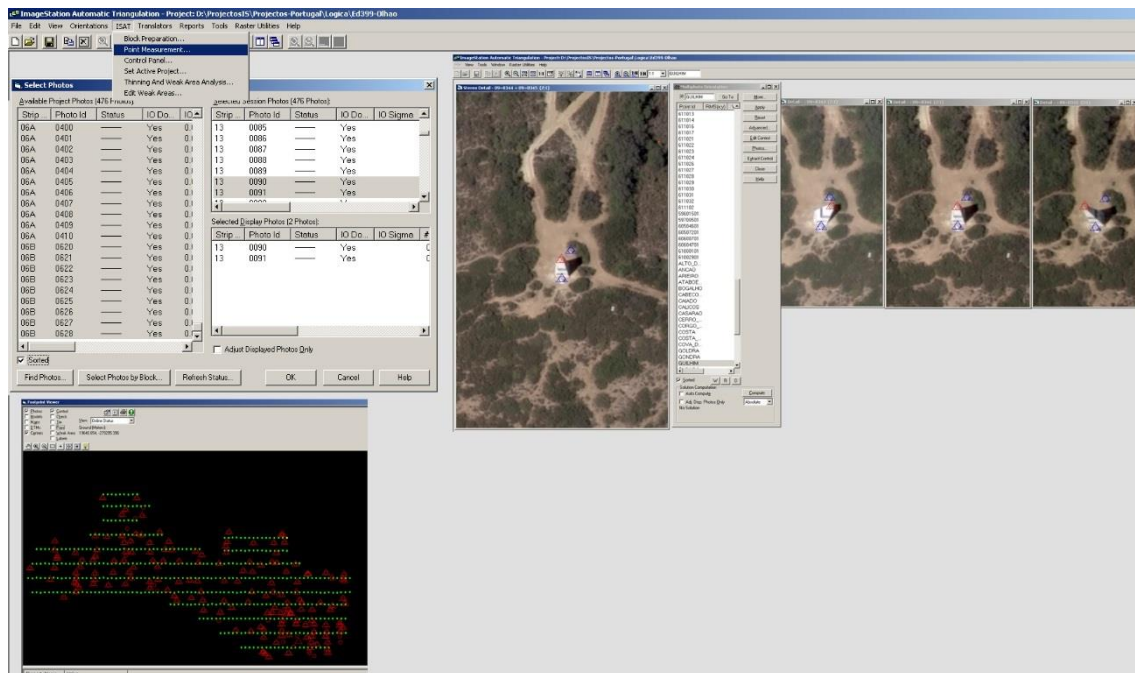


Figura 8.12 - ISAT onde é observável a medição do apoio de campo.

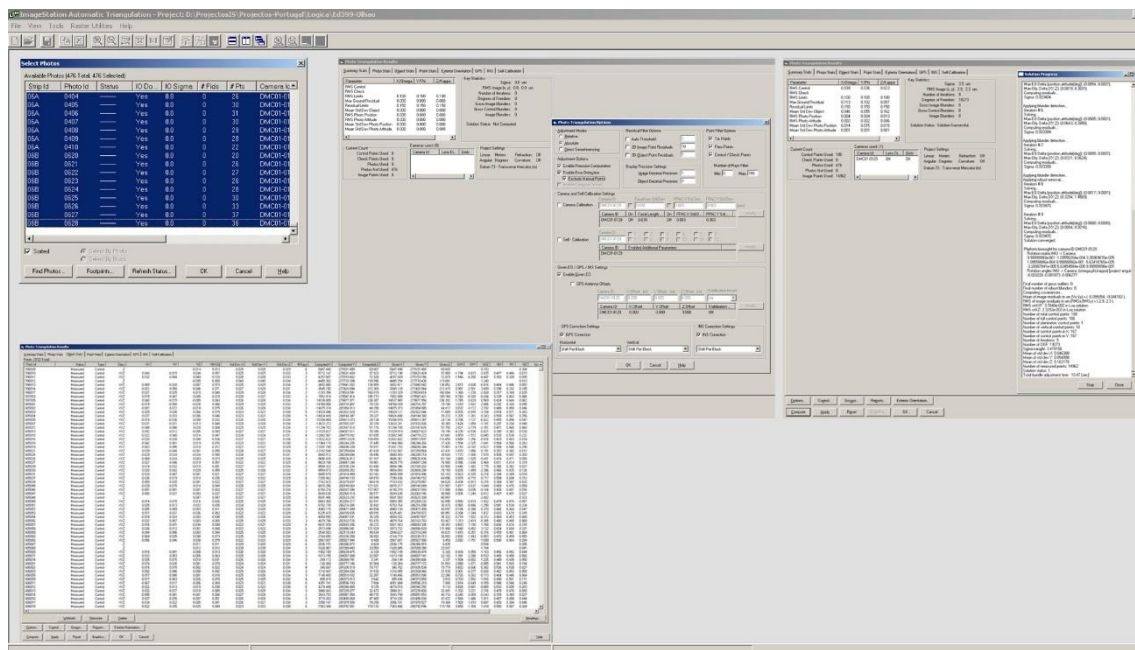


Figura 8.13 - ISAT na verificação da qualidade do ajustamento e dos resíduos associados a cada ponto.

Uma vez aceite o ajustamento, a AT está dada como concluída. Por motivos de verificação, é sempre aconselhável verificar num *software* de restituição a diferença a

3D entre as coordenadas de cada ponto e as coordenadas de onde esse ponto está no modelo.

8.5 Aquisição do Modelo Digital de Terreno

Dado a cartografia vectorial a 3D ser um dos produtos requeridos no projecto em que foi realizado o caso de estudo, optou-se por gerar o MDT utilizando alguns elementos dessa cartografia, nomeadamente uma malha de pontos de cota, complementada por linhas de ruptura do terreno, como: Linhas de água, linhas de cumeada, limites de rede viária e ferroviária (Figura 8.14).

O espaçamento e a localização dos pontos de cota foram ajustados de forma a garantir a aquisição correcta da forma do terreno, ou seja, a malha foi sendo mais apertada à medida que a morfologia do terreno tinha maior variação altimétrica. No mínimo, o espaçamento é de 80m para a escala 1:2000.



Figura 8.14 – Informação vectorial para geração do MDT.

Posteriormente procedeu-se ao carregamento (*upload*) do MDT na aplicação *GlobalMapper*, para isso, foi gerada uma superfície do terreno com um gradiente de cor (Figura 8.15) que evolui consoante a diferença altimétrica, permitindo visualizar variações muito bruscas e assim detectar potenciais erros altimétricos.

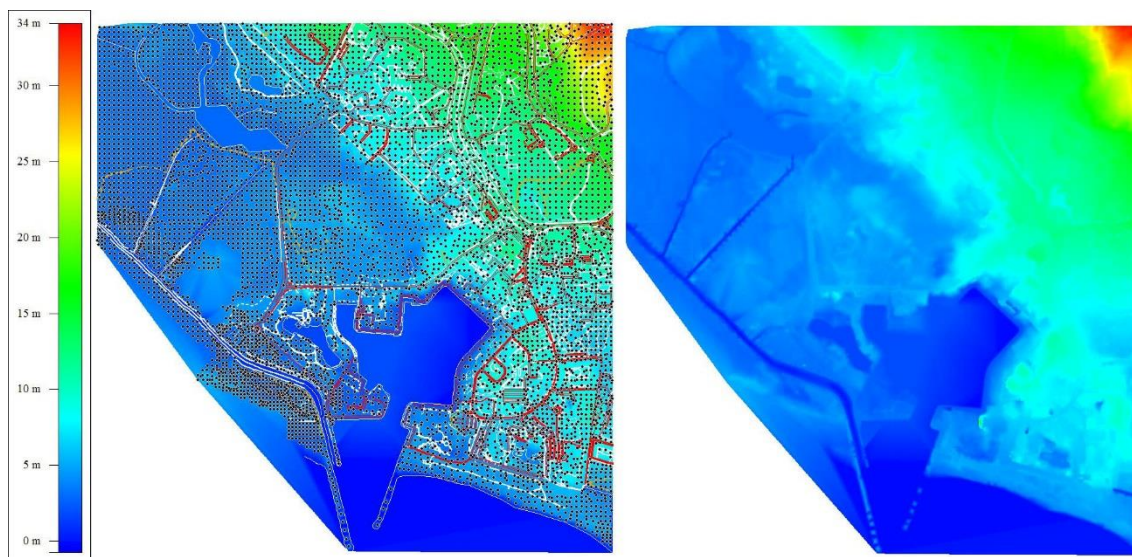


Figura 8.15 – Superfície do terreno com um gradiente de cor consoante a orografia.

Foi descartada logo à partida o uso de MDT obtido por processo automático, pela computação de similaridades entre imagens sobrepostas, porque a sua precisão e fiabilidade em meio urbano é muito débil. O mesmo distribui pontos de cota de forma “cega” na área do modelo, logo a probabilidade do valor destes representar a cota do topo dos edifícios era muito grande, o que se traduziria em resultados muito insatisfatórios, como pode ser observável no exemplo da Figura 8.16, em que o arrastamento do topo do edifício e da via rodoviária são muito notórios.

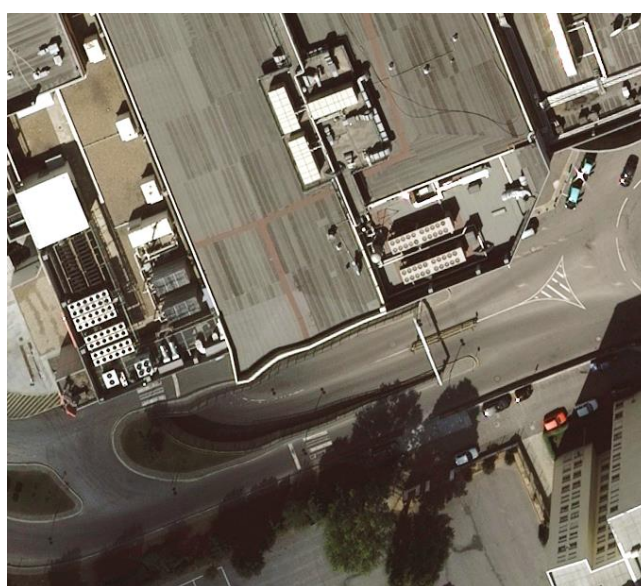


Figura 8.16 – Arrastamentos da imagem devido a um ponto anómalo no MDT.

8.6 Geração dos Ortofotos

A ortoprojecção constitui o último estágio do processo cartográfico. Os elementos e resultados obtidos nas fases anteriores (apoio fotogramétrico, triangulação aérea e geração de MDT), são nesta fase usados, confrontados e validados para a execução da rectificação diferencial.

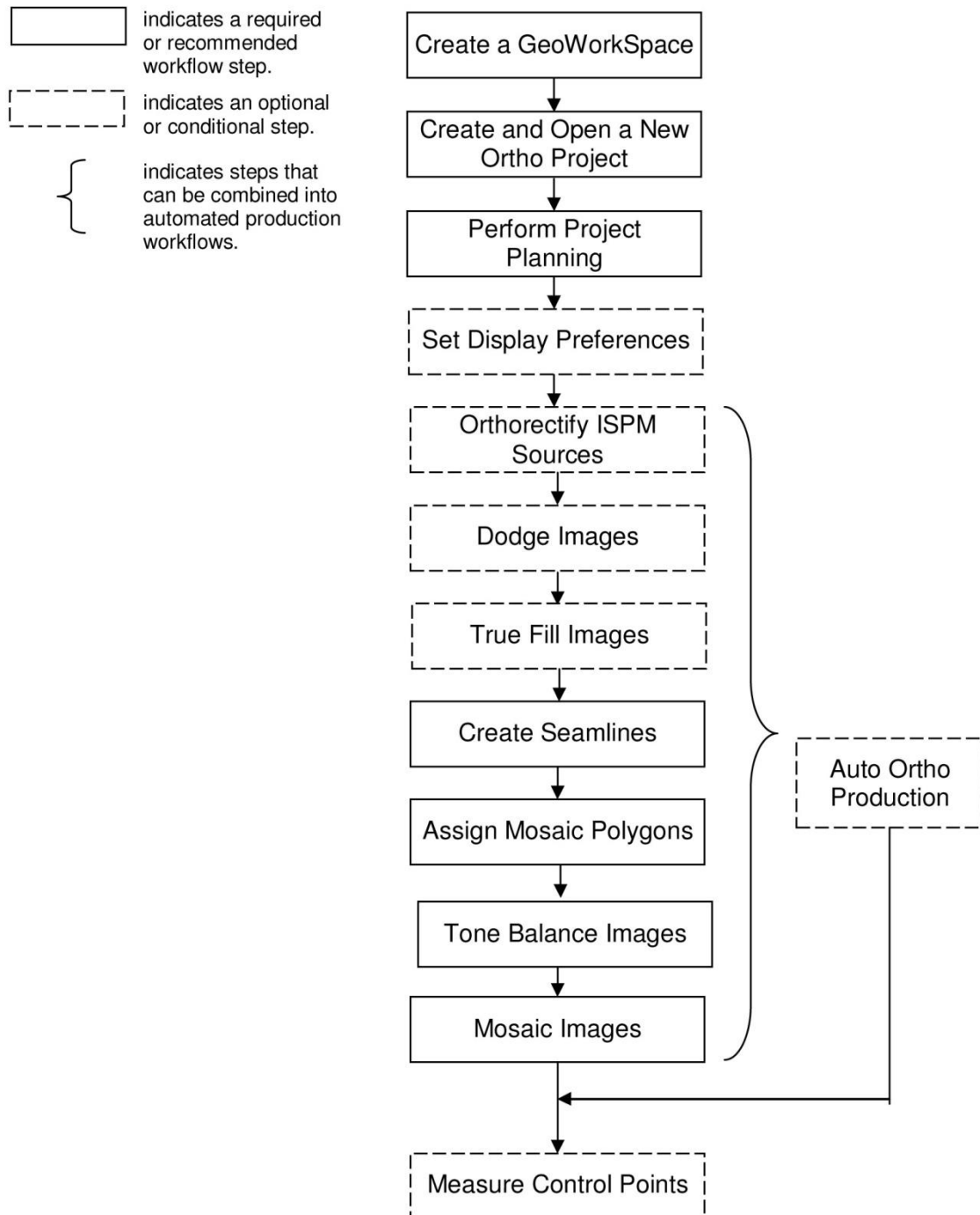


Figura 8.17 – Sequência de operações para produção de um ortofotomapa (adaptado de Z/I Imaging Corporation, 2009).

Os ortofotos foram produzidos com recurso ao módulo *OrthoPro* do *GeoMedia Professional*. Na prática consiste em “moldar” a fotografia aérea do formato 2D (X ,Y) para 3D (X,Y,Z). A figura 8.17, exhibe a sequência de operações a realizar neste ambiente, é de salientar que algumas funções podem ser combinadas em fluxos de produção automáticos.

8.6.1 *OrthoPro Project*

Após ter definição do *GeoWorkSpace* é criado o projecto *OrthoPro* e determinado o sistema de coordenadas, no caso foi importado directamente o ficheiro com extensão csf que foi criado anteriormente no processo de aerotriangulação e que tem associado o sistema de referência *Hayford-Guass, Datum 73*, como pode ser certificado na Figura 8.18.

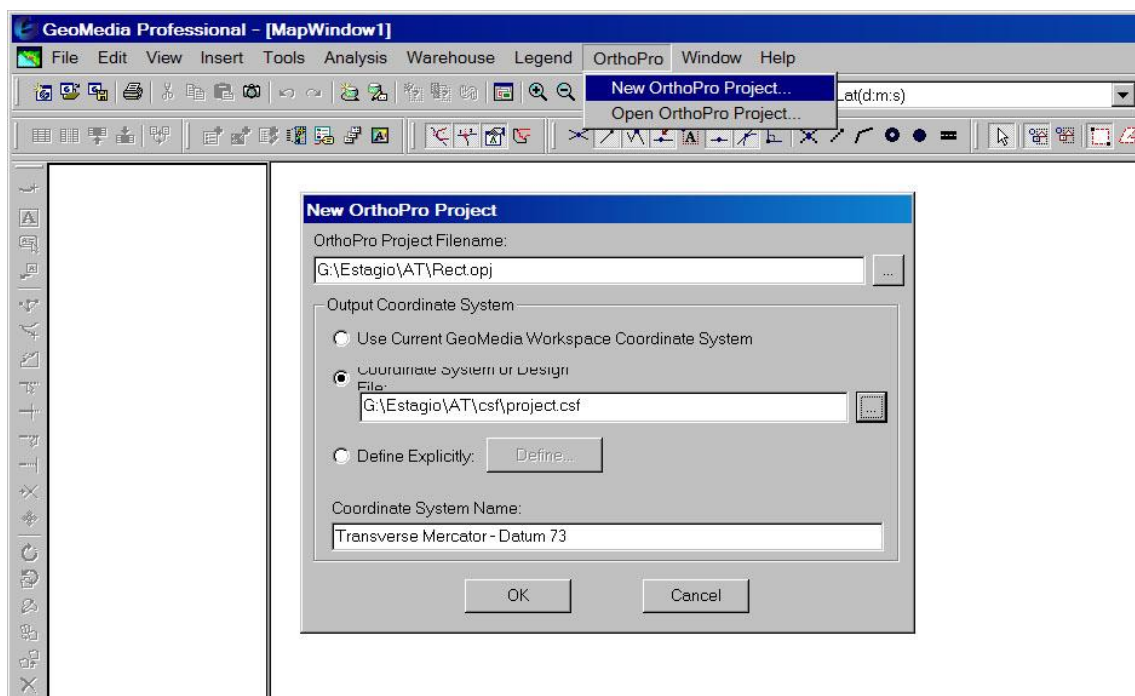


Figura 8.18 – OrthoPro na definição do sistema de coordenadas.

8.6.2 Project Planing

Criado o projecto de *OrthoPro* a caixa de diálogo *OrthoPro* Controle é exibida no *workflow* do Geomedia e a legenda deste é actualizada com os recursos do projecto *OrtoPro*, o próximo passo é aceder ao *workflow* do *Project Planning* e proceder à sequência de tarefas (Figura 8.19) cujas descrições e opções serão detalhadas seguidamente e as opções de menu visualizadas na Figura 8.20.

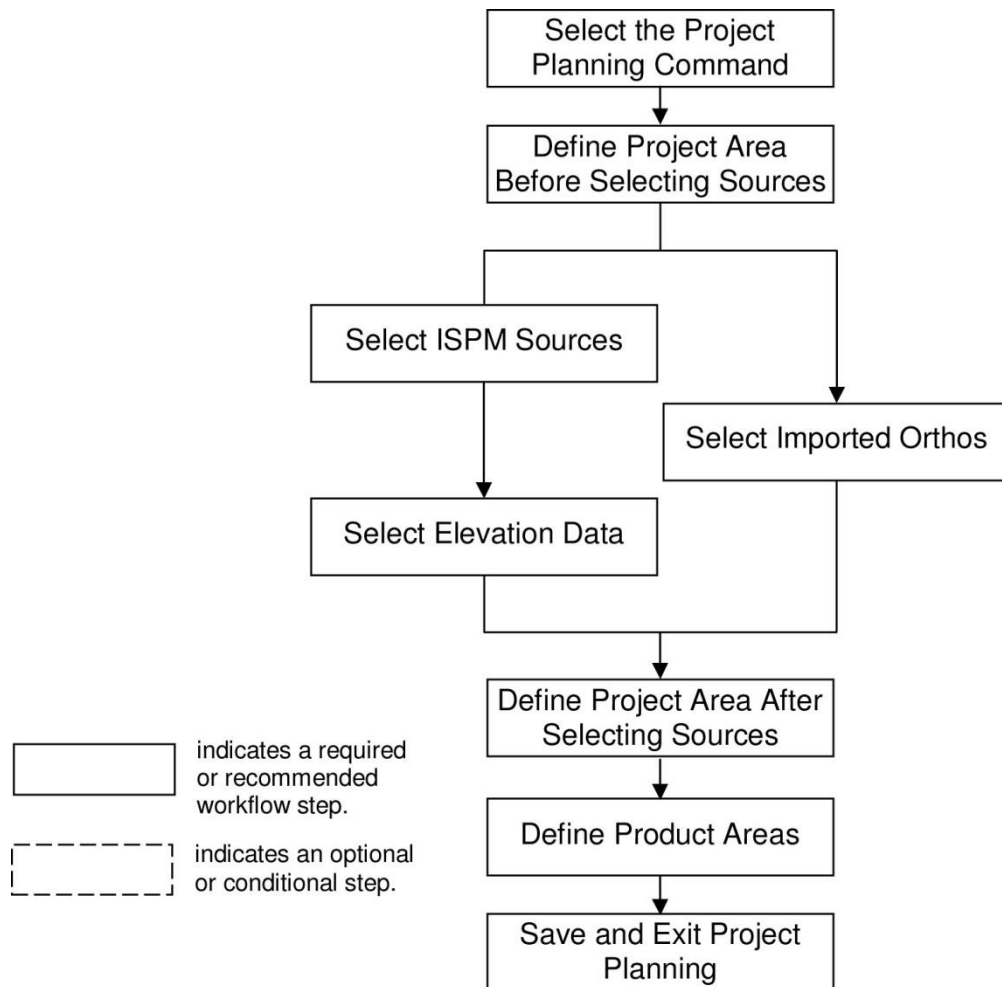


Figura 8.19 – Sequência de operações para definição do projecto OrthoPro (adaptado de Z/I Imaging Corporation, 2009).

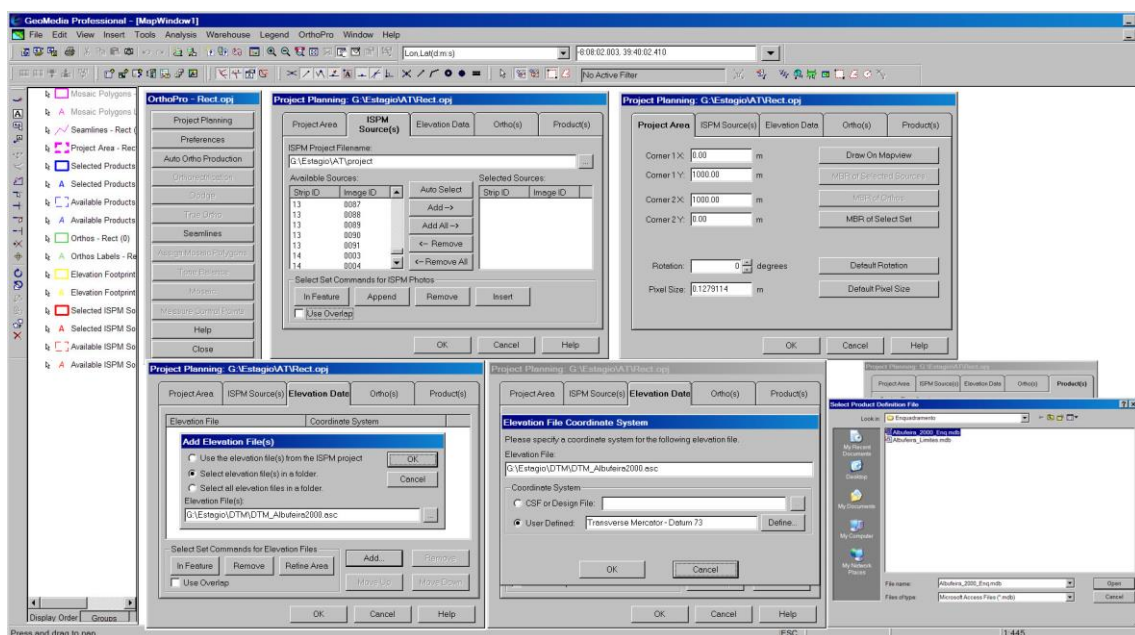


Figura 8.20 – OrthoPro com os vários fiheiros de entrada necessários ao processo.

Faz-se o *upload* do projecto de aerotriangulação, do MDT previamente editado de acordo com as especificações para produção de ortofotos, a aplicação suporta o MDT quer em formato matricial (TIN) como em formato ascii, neste caso optou-se pelo formato ascii. Seguidamente é necessário redefinir o tamanho do píxel para 0,15 como reportado no caderno de encargos (o píxel original é de cerca de 0,12m) e para finalizar é necessário delimitar a área de trabalho.

A Figura 8.21 ilustra o *wokrflow* do projecto onde são perceptíveis os vários *inputs*, modelo digital do terreno, fotografias aéreas, com o seccionamento à escala 1/2000 e que tem como base a Série Cartográfica 1/25000 do CIGeoE. Cada ortofotomapa representa uma área útil de 1600 m por 1000 m, assim como a área parcial do projecto que irá ser processada.

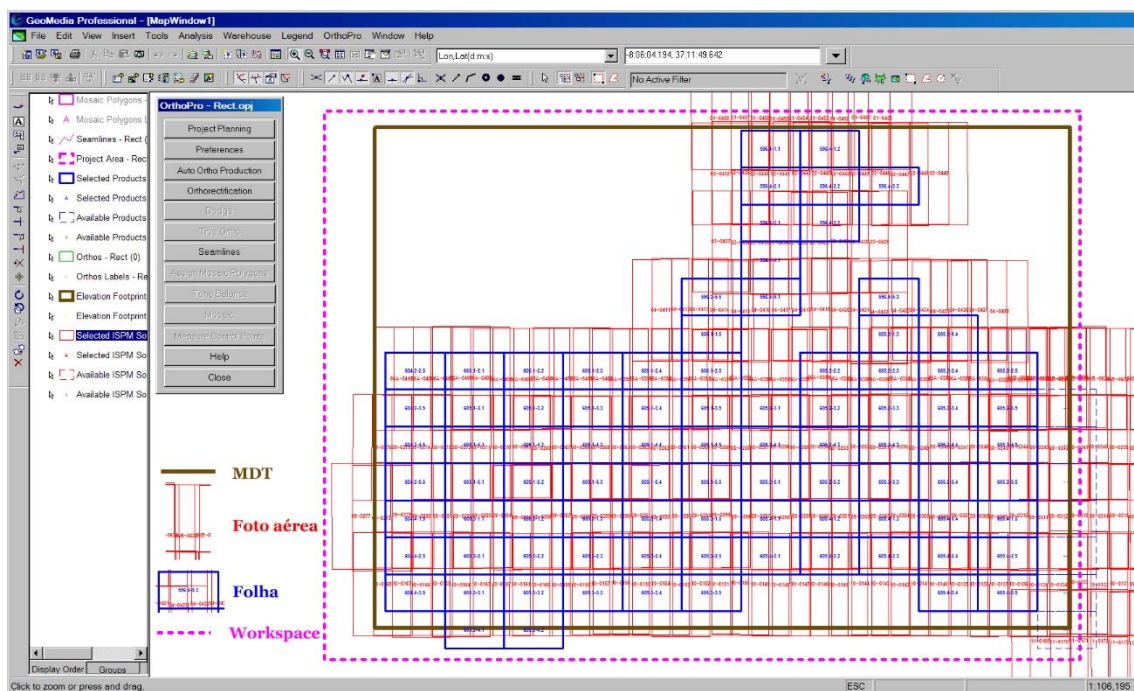


Figura 8.21 - OrthoPro onde são visíveis todos os elementos de entrada.

Criada a primeira etapa de determinação do projecto, sempre que seja necessário aceder ao mesmo e continuar a trabalhar, basta reabrir o *GeoWorkspace* e através do comando *Open OrthoPro Project* reabrir o mesmo.

8.6.3 Rectificação Diferencial

Concluída a etapa de planificação do projecto, seleccionando na caixa de diálogo *OrthoPro Controle*, a opção *Orthorectification*, acede-se ao menu *OrthoPro Rectify*, a rectificação diferencial propriamente dita. Neste ambiente são visualizadas as imagens integrantes do projecto, assim como os parâmetros a definir para a rectificação (Figura 8.22). A Figura 8.23 ilustra a sequência de tarefas cujas descrições e opções serão detalhadas seguidamente.

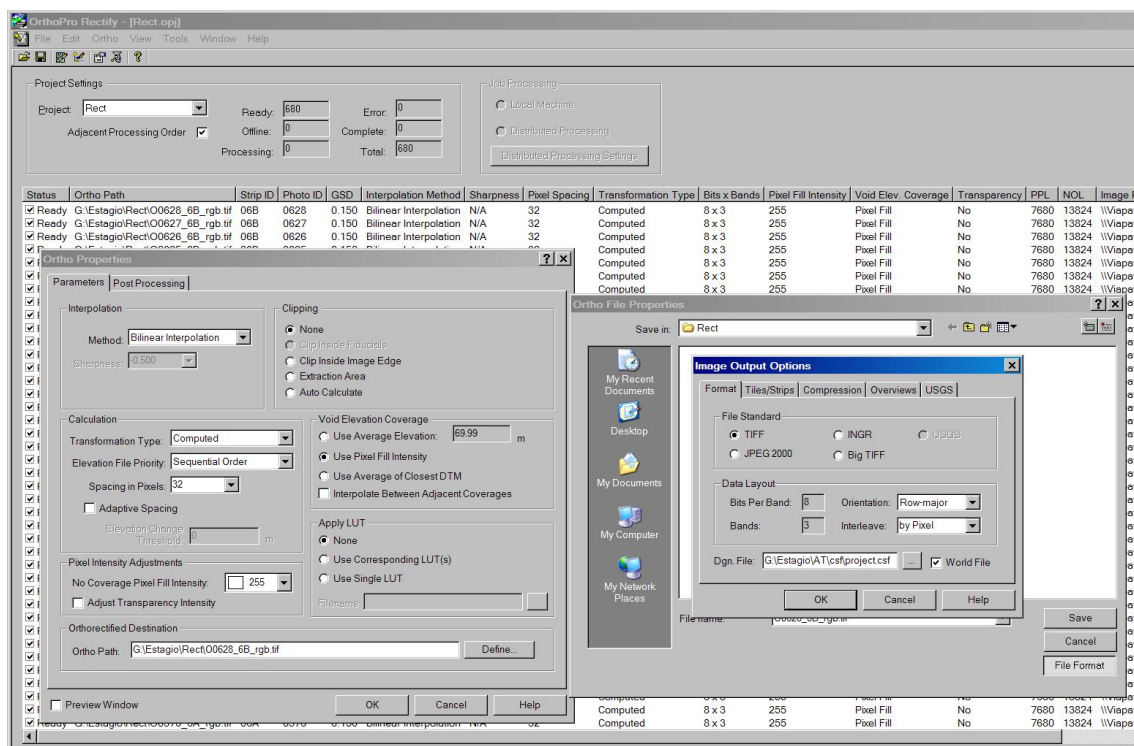


Figura 8.22 – OrthoPro na fase de definição de parâmetros para a rectificação diferencial.

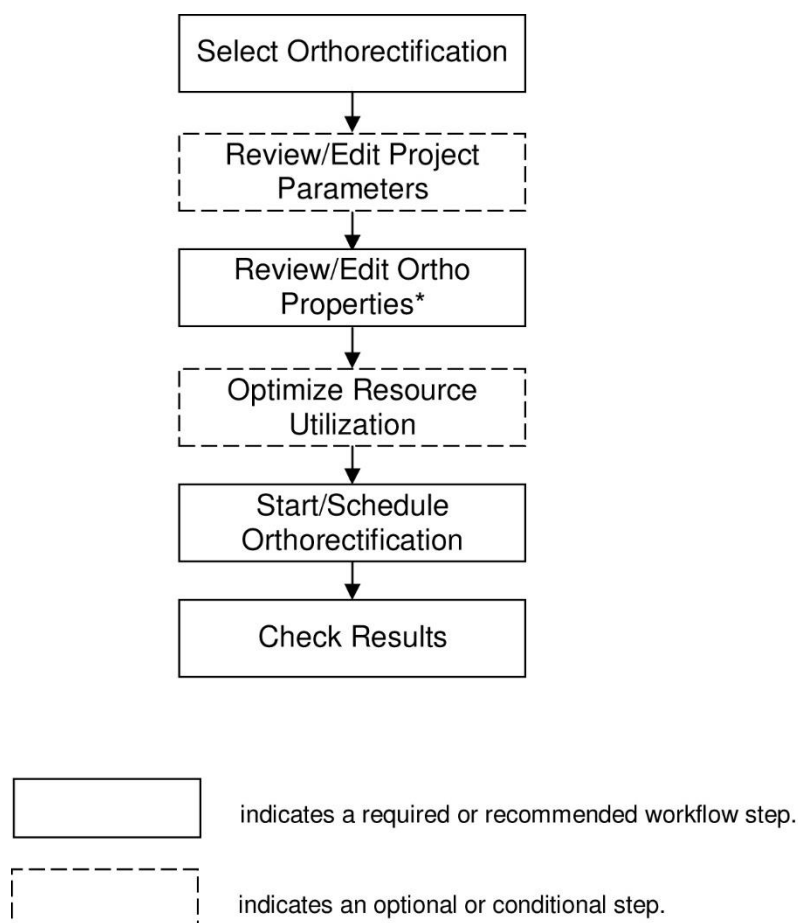


Figura 8.23 – Esquema com os menus dos parâmetros a definir para a rectificação diferencial (adaptado de Z/I Imaging Corporation, 2009).

Interpolation, Na opção dos métodos de interpolação definem-se os parâmetros de interpolação a utilizar para determinar o nível de cinza ou tom de cor atribuído a cada píxel no output (ortofoto digital). Estão disponíveis os seguintes métodos:

- *Nearest Neighbor*, é o método do vizinho mais próximo, é um método de interpolação determinístico no qual o valor estimado é sempre igual à sua amostra mais próxima não considerando qualquer outra. Dada a sua simplicidade é o método mais rápido, porém o mais dúbio;
- *Bilinear Interpolation*, é o método de interpolação que cria um valor de píxel de saída, tendo em conta uma média ponderada dos quatro píxeis mais próximos numa área de 2-píxeis-por-2-píxeis em torno do píxel que está a ser calculado. Este método resulta em outputs de gradação média;
- *Cubic Convolution*, é um método de interpolação de píxel que cria um valor de píxel de saída, calculando a média ponderada de 16 píxeis numa área de 4-píxeis-por-4-píxeis. Deste resulta uma imagem rectificada com gradações suaves;
- *Exponential*, é semelhante ao *Cubic Convolution*, sendo que é tido como ainda mais exacto que este, isto, porque é sistema ponderado complexo, calcula a média ponderada de uma área maior, 8-píxeis-por-8-píxeis, no entanto o tempo de processamento é mais demorado cerca de 25% mais de tempo em relação ao método anterior.

Para a rectificação da área usada nesta componente prática, optou-se pelo *Bilinear Interpolation*, dado ser o método que assume o melhor compromisso entre os resultados obtidos e o tempo de processamento.

A opção Calculation Parameters selecciona o tipo de transformação a ser usada para rectificação, no caso o método usado foi o *Computed*, pois este usa os parâmetros de orientação externa que foram calculados para o modelo (ISAT).

Na opção Elevation File Priority, escolhe-se a ordem de primazia dada aos MDT carregados previamente:

- *Sequential Order*, especifica que os dados de elevação sobrepostos serão usados segundo a ordem de arquivo do próprio nome, este foi o método usado dado que foi adicionado um único MDT;
- *Closest to Photo Center*, especifica que os dados de elevação sobrepostos cujo centro está mais próximo do centro da foto, será usado primeiro, seguido do segundo mais próximo e assim por diante;
- *Highest Z Value*, esta opção calcula todos os dados de elevação nos MDT adicionados durante a criação do projecto, independentemente da sua relevância.

A opção *Spacing in Pixels*, serve para definir o espaçamento em número de píxeis em que os dados da elevação serão observados durante a reamostragem da imagem output. Por exemplo, um valor de espaçamento de 8 significará que o MDT vai ser observado em cada bloco de 8 píxeis por 8 píxeis na imagem, enquanto os valores deste intervalo são preenchidos por interpolação. Um espaçamento mais pequeno porventura produzirá resultados mais precisos, mas irá exigir mais capacidade e tempo de processamento. O espaçamento tem valores pré-definidos que variam entre os múltiplos do número 1 ao 256. O valor escolhido foi de 32 dado que permite óptimos resultados e o tempo de processamento é exequível.

A opção *Adaptive Spacing*, adapta o espaçamento do píxel na consulta do MDT em função da inclinação dos dados de elevação. Deste modo o processamento global é mais rápido, dado que o espaçamento é de 1 em 1 apenas nas áreas onde a variação de altitude é superior ao valor especificado, e nas restantes áreas é usado o valor da opção *Spacing in Pixels*.

Defining Clipping, esta opção de parâmetros permite escolher a área da fotografia que se pretende rectificar, tendo as seguintes preferências:

- ***None***, nenhuma borda ao redor da imagem será eliminada de modo a reduzir a área da imagem output;
- ***Clip Inside Fiducials***, especifica o valor da borda ao redor da imagem que será eliminada. Esta distância é determinada em número de píxel que é inserido na caixa que aparece quando é seleccionada esta opção;

- ***Clip Inside Image Edge***, permite à semelhança da opção anterior especificar o valor da borda ao redor da imagem que será eliminada. Contudo é mais completo pois permite diferenciar o número de píxel a eliminar em cada um dos eixos, esquerdo, direito, superior e inferior. Esta opção é muito válida em situações em que a qualidade da imagem está deteriorada nas margens;
- ***Extraction Area***, esta opção permite definir as coordenadas X e Y dos cantos superior esquerdo e inferior direito de imagem output, de modo a esta preencher apenas esse intervalo;
- ***Auto Calculate***, esta opção calcula automaticamente a área mínima a rectificar em função do limite do MDT.

Defining Pixel Intensity Adjustments, estes parâmetros, especificam os valores de ajuste dos pixéis na imagem output, em áreas onde existe cobertura fotográfica, mas não existem dados de elevação, segundo as seguintes opções:

- *No Coverage Pixel Fill Intensity*, opção para definir valor de intensidade para preencher os pixéis. Os valores variam de 0 (preto) a 255 (branco);
- *Adjust Transparency Intensity*, esta opção serve para ajustar a reamostragem dos pixéis com intensidade igual à das imagens adjacentes.

Defining Void Elevation Coverage Parameters, estes parâmetros especificam os valores de elevação a atribuir aos pixéis em áreas da imagem rectificada que possa estar fora da cobertura dos dados de elevação:

- *Use Average Elevation*, esta opção permite que as imagens sejam rectificadas usando a altitude média de terreno e que foi previamente atribuída no decorrer do processo da aerotriangulação aquando da criação do projecto ISPM;
- *Use Pixel Fill Intensity*, esta opção faz a reamostragem do valor do píxel da imagem rectificada de acordo com o valor da imagem input, nas áreas onde não existe informação altimétrica o valor do píxel é o definido na opção *No Coverage Pixel Fill Intensity*. Esta opção é a mais

usual porque ao rectificar apenas áreas onde existe informação de imagem e de elevação optimiza o tempo de processamento e o espaço de armazenagem;

- *Use Average Elevation of Closest DTM*, determina que as áreas rectificadas fora da cobertura de elevação sejam rectificadas com a média dos dados do modelo de elevação mais próximo;
- *Interpolate Between Adjacent Coverages*, especifica que onde existam lacunas na sobreposição dos modelos altimétricos, estas sejam preenchidas através da interpolação dos valores dos modelos altimétricos.

Applying Look up Table (LUT), é uma função que a partir de uma tabela cria uma nova imagem em que os valores dos tons de cor dos pixéis são concordantes com essa tabela como explicitado na Figura 8.24, onde a primeira coluna corresponde ao número do píxel e as colunas seguintes aos valores RGB respectivamente, que esse píxel vai adoptar.

- *None*, esta opção processa a rectificação sem a aplicação de qualquer LUT;
- *Use Corresponding LUT(s)*, aplica uma LUT a cada imagem durante o processamento, sendo necessário que exista um ficheiro correspondente cada imagem contendo os valores de radiometria a aplicar, o nome deste ficheiro tem que ser igual ao da imagem mas com o sufixo “.lut”. Esta opção é usada quando as diferenças radiométricas entre fiadas ou até na mesma fiada são muito acentuadas, pois permite uma correcção individualizada;
- *Use Single LUT*, esta opção permite a selecção de uma única LUT que irá ser aplicada durante o processo a todas as imagens output.

Nesta componente prática dado não existirem grande variação de cor entre as várias imagens das sucessivas fiadas optou-se por aplicar uma LUT apenas no momento do mosaico final para produção do ortofotomapa

Albufeira.lut				
4	stretch_value	0.000000		
5	0	0	0	0
6	1	0	0	0
7	2	0	0	0
8	3	0	0	0
9	4	0	0	0
10	5	0	0	0
11	6	0	0	0
12	7	0	0	0
13	8	0	0	0
14	9	0	0	0
15	10	0	0	0
16	11	0	0	0
17	12	0	0	0
18	13	0	0	0
19	14	0	0	0
20	15	0	0	0
21	16	0	0	0
22	17	0	0	0
23	18	0	0	0
24	19	0	0	0
25	20	0	0	0
26	21	0	0	0
27	22	0	0	0
28	23	0	0	0
29	24	0	0	0
30	25	0	0	0
31	26	0	0	0
32	27	0	0	0
33	28	0	0	0
34	29	0	0	1
35	30	0	0	4
36	31	0	0	5
37	32	0	0	6
38	33	0	0	7
39	34	0	0	10
40	35	0	2	11
41	36	0	4	12
42	37	0	6	13
43	38	1	7	16
44	39	4	9	17
45	40	4	10	18
46	41	5	11	20
47	42	7	13	21
48	43	9	15	24

Figura 8.24 – Ficheiro Lut com número de píxeis e respectivos valores RGB.

Previewing Orthophoto Results, exibe uma janela de visualização da imagem para descobrir hipotéticos problemas, exibe um símbolo de ponto de controlo que permite comparar a concordância da posição de um PF na aquisição com a com a sua posição na imagem rectificada (Figura 8.25).

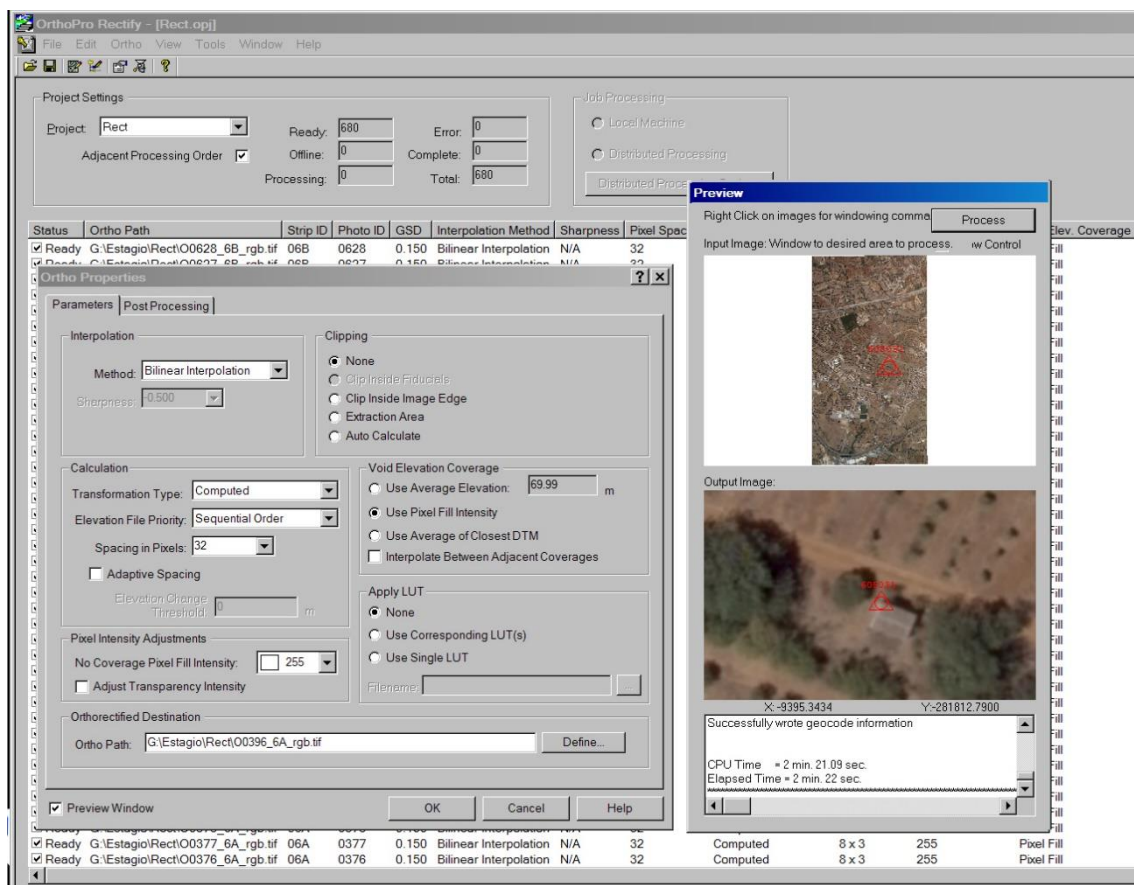


Figura 8.25 – OrthoPro com a visualização prévia da exactidão posicional da imagem rectificada.

Defining Image Output Properties, é a caixa de opções *Image Output Options* (Figura 8.26), que define os parâmetros de saída, formato, organização dos dados, tamanho da tela, método de compressão e tipo de pirâmide de visualização da imagem rectificada.

Format Tab, opção para especificar o tipo de formato da imagem output.

- *TIFF*, formato de saída TIFF que inclui o geotag (GeoTIFF) com informação no cabeçalho das coordenadas do canto superior esquerdo;

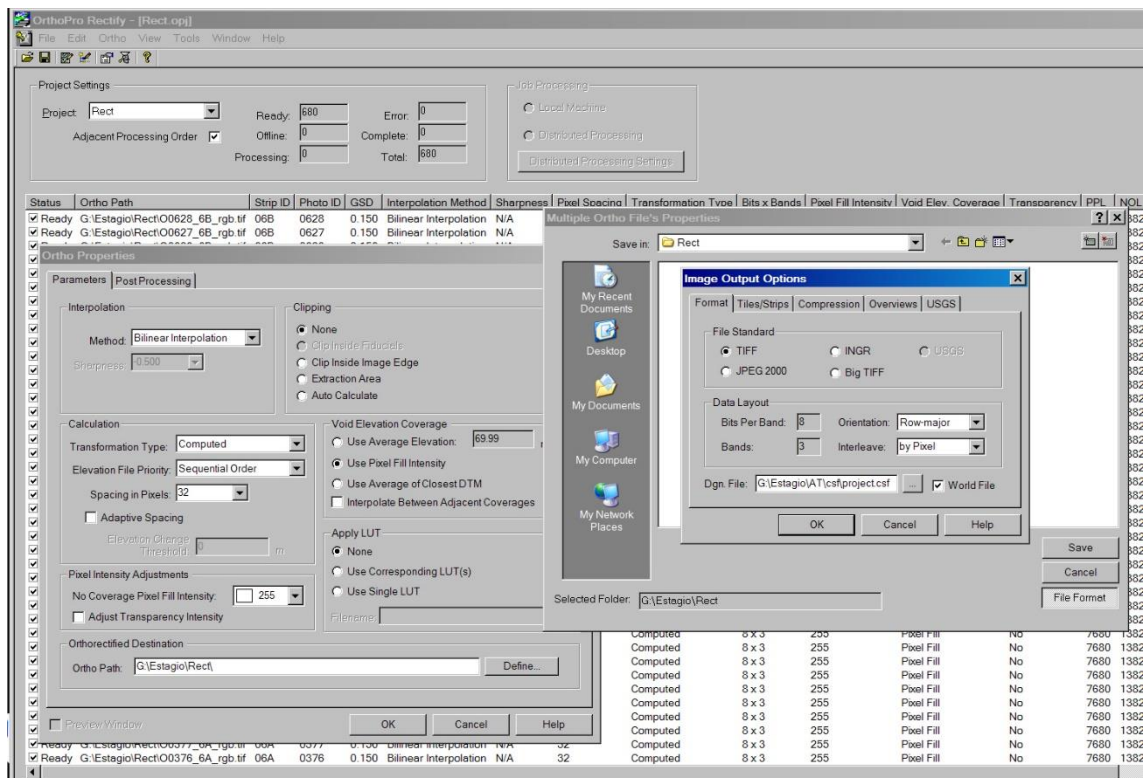


Figura 8.26 – *OrthoPro* na definição das propriedades da imagem output.

- *INGR*, formato de saída padrão Intergraph, contem também um cabeçalho contendo as coordenadas geográficas baseado no sistema WGS84, *datum* e projecto;
- *USGS*, especifica a saída no formato padrão do USGS (versão de Dezembro de 1996);
- *JPEG 2000*, opção para determinar o formato de saída;
- *BIG TIFF*, o formato TIFF usa partições de 32 bits e como tal, é limitado a 4 GB. O formato BigTIFF pode lidar com imagens muito pesadas, ou grandes colecções de imagens, quebrando a barreira dos 4Gb. O BigTIFF usa partições de 64 bits em vez de 32 bits, não existindo virtualmente nenhum tamanho limite.

Data Layout, opção para especificar como os dados *raster* serão organizadas no arquivo de saída.

- *Bits Per Band*, Indica o número de bits por banda nos ficheiros de entrada e saída dos dados *raster*;
- *Bands*, indica o número de bandas ou canais (1 para preto e branco, 3 ou para 4 cor) nos ficheiros de entrada e saída dos dados *raster*;
- *Orientation*, Selecione a linha principal para o armazenamento de linha por linha dos dados *raster* ou a linha-menor para o armazenamento de coluna por coluna (Figura 8.27).

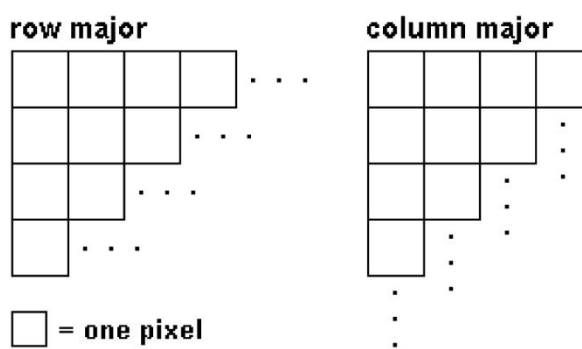


Figura 8.27 – Opção de organização dos dados raster.

Interleave, seleciona o modo de armazenar a especificação da cor dos dados raster.

- *By Pixel*, opção para especificar um método de armazenamento que escreve o primeiro píxel da primeira banda, seguidamente o primeiro píxel da segunda banda e assim por diante, fazendo um varrimento de todos os valores de píxel do ficheiro de modo a organizar uma ordem linha/coluna os dados são armazenados consecutivamente;
- *By Band*, opção para especificar um método de armazenamento que consecutivamente coloca todos os píxeis da primeira banda, seguidamente todos os píxeis da segunda banda e por fim todos os píxeis da terceira banda.

Dgn. File, opção para selecção de um ficheiro formato dgn ou ficheiro formato csf que forneça as informações de transformação das unidades das coordenadas necessárias para carregar a imagem aplicativos tais como o I/RASC.

World File, opção para criar um ficheiro em formato ascii (Figura 8.28) contendo um conjunto de coeficientes de transformação e sistema de coordenadas para posicionar a imagem correctamente.

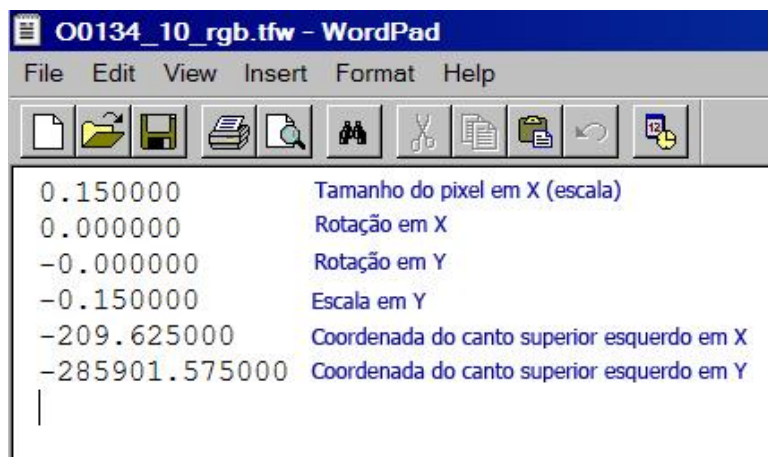


Figura 8.28 – Ficheiro ascii contendo os elementos de georreferenciação da imagem.

Tiling/Stripping Method (Figura 8.29)

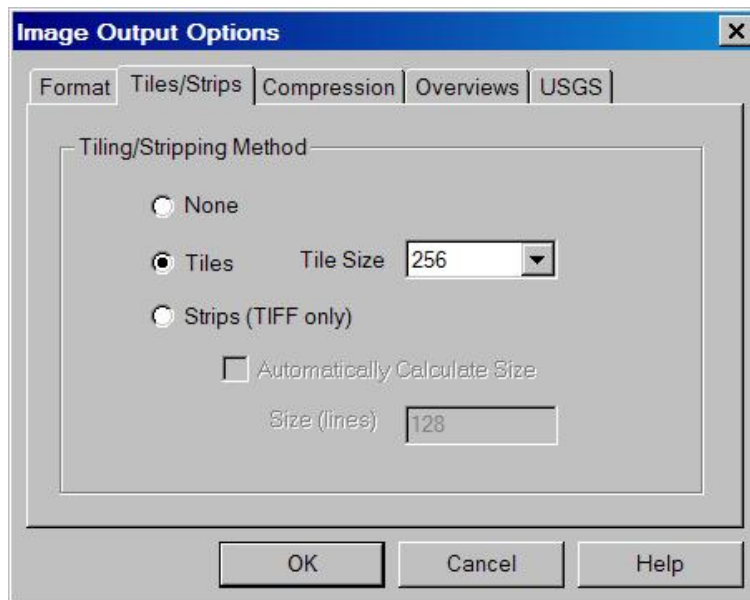


Figura 8.29 – Opção no OrthoPro para escolha da organização dos dados raster.

- *None*, não especifica qualquer organização dos dados output;
- *Tiles*, Especifica a organização dos dados no *raster output*;

- *Tile Size*, especifica a organização dos dados no *raster output*. de 256 por 256-píxeis de por 512-píxeis e assim por diante.

Compression Method, opção para seleccionar um dos métodos possíveis de compressão (Figura 8.30), utilizado para diminuir o espaço em disco usado pelos ficheiros *raster*:

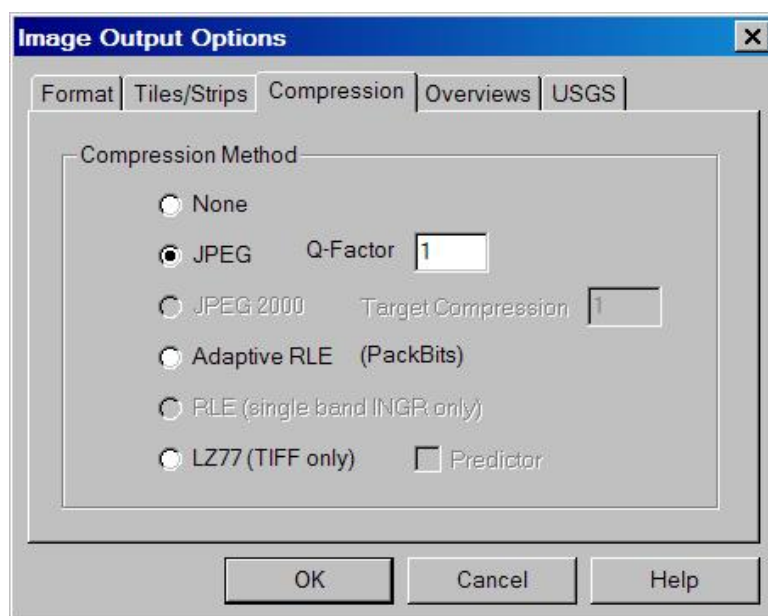


Figura 8.30 - Opção no OrthoPro para escolha do método e do factor de compressão dos dados raster.

- *None*, com esta opção os dados *raster output* não serão compactados;
- *JPEG*, opção para escolher o JPEG como método de compressão, método que se traduz em alguma perda de qualidade face à imagem sem qualquer tipo de compressão, sendo que, a taxa é variável consoante o factor Q;
- *Q-Factor*, Os factores Q são válidos de 1 a 200. Quanto maior for o factor Q, maior será a compressão da imagem, mas as diferenças entre imagem compactada e a imagem original também serão superiores;
- *JPEG 2000*, Ao contrário da compressão padrão JPEG, a compressão JPEG 2000 permite a escolha entre uma compressão com percas de qualidade e sem percas. O factor de compressão valor 1,0 traduz-se

numa imagem sem percas de qualidade e criando um ficheiro com aproximadamente 66% do tamanho de uma versão descompactada, valores abaixo de 1,0 traduzem-se em maior compactação e menor qualidade da imagem. A Compressão JPEG 2000 está disponível apenas para ficheiros cujo *input* já está JPEG 2000.

Overviews Tab, (Figura 8.31) cria um conjunto de pirâmides que facilita o display da imagem.

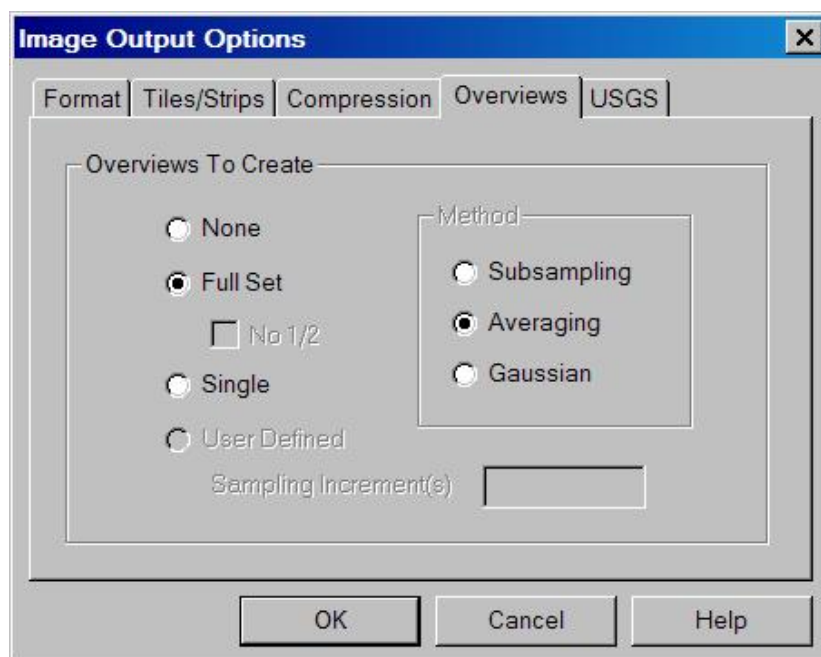


Figura 8.31 - Opção no OrthoPro para escolha do tipo de pirâmide a ser adoptada.

- *None*, especifica que a imagem de saída não terá nenhuma pirâmide;
- *Full Set*, cria um conjunto completo de pirâmides, que são todas as visões que resultam numa redução da imagem original, sucessivamente até atingir a visão mínima que será de 30 por 30;
- *Single*, cria um conjunto único de pirâmides que é geralmente 2.000.000 píxeis, sendo a visão mínima cerca de metade da imagem input;
- *Method*, parâmetros para criar *overviews*;
- *Subsampling*, determina um método de criação de *overviews* sem qualquer filtro padrão ou amostragem definida pelo operador.

- *Averaging*, especifica um método de criação de *overviews* com recurso a filtros que calculam áreas de píxeis na imagem original ou por áreas amostra definidas pelo operador. Utiliza um incremento em media de 2-píxeis por 2-píxeis.
- *Guassian*, especifica um método de criação de *overviews* com recurso a filtros que calculam uma média ponderada de 5-por-5 *weighted average convolution kernel*.

Concluída a definição de parâmetros dá-se início ao processo propriamente dito de rectificação. É de salientar que a aplicação faz a gestão do número de imagens a rectificar simultaneamente em função das características e recursos de *hardware* e software utilizados. A Figura 8.32 ilustra em ambiente I/RASC a imagem original na origem $XY=0,0$ e a imagem rectificada que como se pode observar projectou-se na área de planimetria concordante.

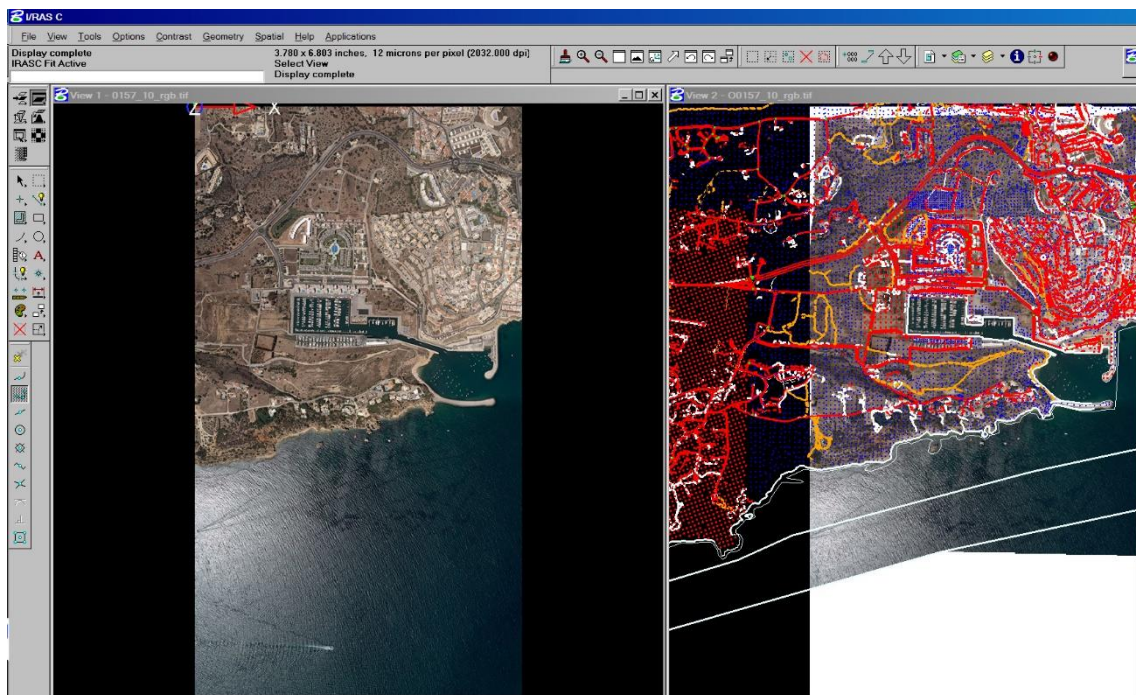


Figura 8.32 – I/RASC com a imagem original e a imagem já rectificada sobreposta à cartografia.

A Figura 8.33 ilustra em ambiente Geomedia, as imagens já rectificadas (ortofotos) para a cobertura total da área requerida.

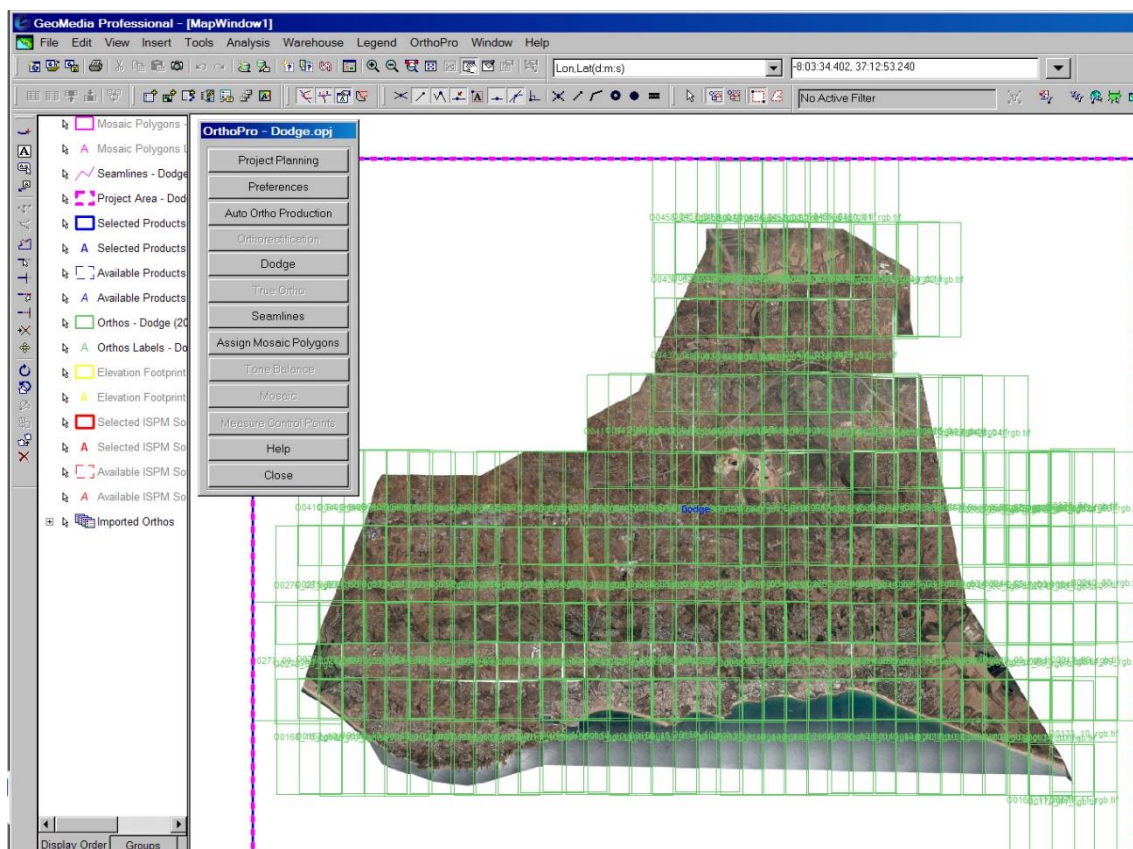


Figura 8.33 – Geomedia com a visualização da totalidade dos ortofotos para a área de estudo.

8.6.4 Dodging

Concluído o processo de rectificação o próximo passo é aceder no *workflow* do *Project Planning* à caixa de diálogo *OrthoPro Controle* e na opção *Dodge* aceder ao menu *OrthoPro Dodge*.

Para executar as funções disponíveis no menu *dodge* é necessário que estejam inseridos os ortofotos alvo de tracto. O processo pode ser executado sequencialmente após a rectificação diferencial, caso o projecto de *OrthoPro* tenha sido encerrado pode ser novamente aberto e por inerência é feito o *upload* dos ortofotos que nele estão incluídos, assim como, pode ser criado um novo projecto *OrthoPro* e neste fazer o *upload* das fotografias aéreas previamente rectificadas.

O Figura 8.34 ilustra a sequência de funções cujas descrições e opções serão particularizadas seguidamente.

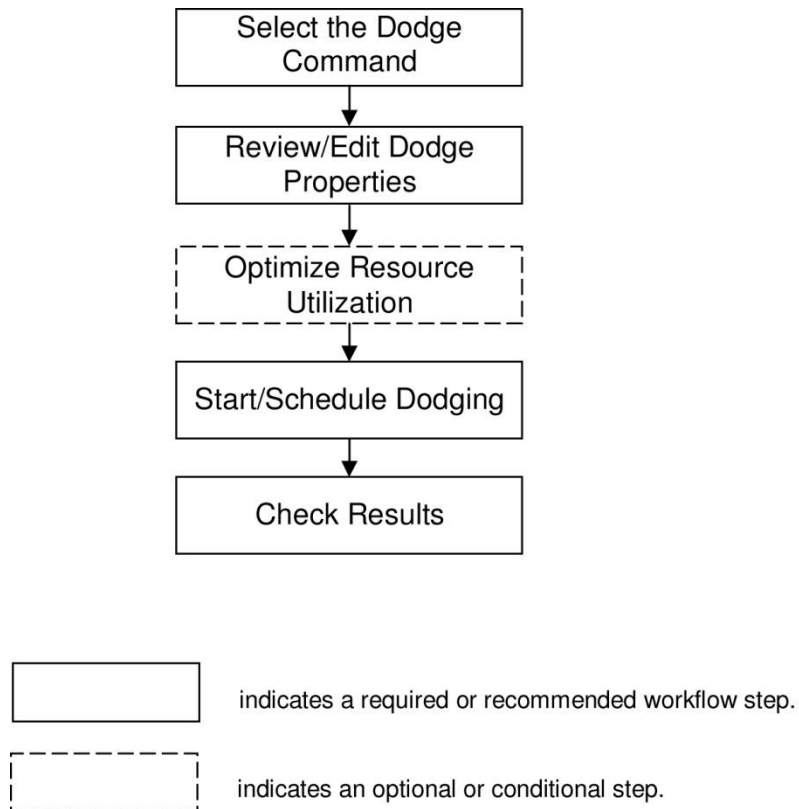


Figura 8.34 – Esquema com os menus dos parâmetros a definir para o balanceamento *dodge* (adaptado de Z/I Imaging Corporation, 2009).

A fotografia aérea é afectada frequentemente por condições de iluminação desigual devido a distorção da lente, ao excesso de luminosidade ou à presença de nuvens mesmo que dispersas fazendo com que algumas imagens sejam mais brilhantes em algumas áreas e noutras mais escuras. O mesmo se aplica às reflexões devido à diferença de humidade no solo, etc.

O *OrthoPro Dodge* é específico para ajudar à correcção da iluminação desigual. Realiza tentativas para superar os desequilíbrios tonais por aplicação de correcção de valores discretos em cada píxel de uma imagem, sendo que, irá escurecer áreas claras da imagem e clarear as áreas escuras, deslocando a totalidade da imagem para um centro tonal que é especificado pelo operador ou inferido pelo cálculo da média do histograma de cada banda através de interpolação bilinear.

O algoritmo efectua a seguinte função:

- O valor médio do histograma do píxel é calculado para cada *subtile*. Os cálculos para o valor médio do histograma podem usar apenas os píxeis que se encontram num certo intervalo (por exemplo, $3 < \text{intensidade de píxel} < 252$). Isto é útil caso o ortofoto tenha áreas escurecidas devido à ausência de MDT ou a cobertura fotográfica incompleta (usar as opções -p e +p). Esta etapa é omissa com a opção “-u” activada;
- A gradação dos valores medianos (da imagem output) é ajustada aos valores do “*gamma* mínimo” e do “*gamma* máximo” (- opções -g e +g) para que cada centro do *gamma* do output não sofra um desvio para cima em relação ao centro do *gamma* da fonte. É usado um filtro passa-baixo para suavizar a gradação dos valores médios do píxel output. Este processo reduz o efeito de anomalias localizadas. Quanto maior o tamanho da amostra menor é a probabilidade de surgirem áreas circunscritas com píxeis escuros ou brilhantes. A imagem output apresenta na sua globalidade uma variação de tons muito ténue.
- Baseado no seu valor de tom, a cada píxel é atribuído uma correcção baseada na função quadrática projectada, deslocando o valor médio do píxel de cada área local para um valor do píxel do destino (definido pelo histograma ou pela média calculada da banda). O deslocamento nunca excederá menos que o “mínimo da *gamma shift*” ou mais que o “máximo da *gamma shift*” definido pelo utilizador, não obstante o perfil da função reamostragem.

Ao aceder ao menu *OrthoPro Dodge*, entra-se no ambiente onde são visualizadas as imagens alvo de tratamento, assim como, os parâmetros de definições (Figura 8.35).

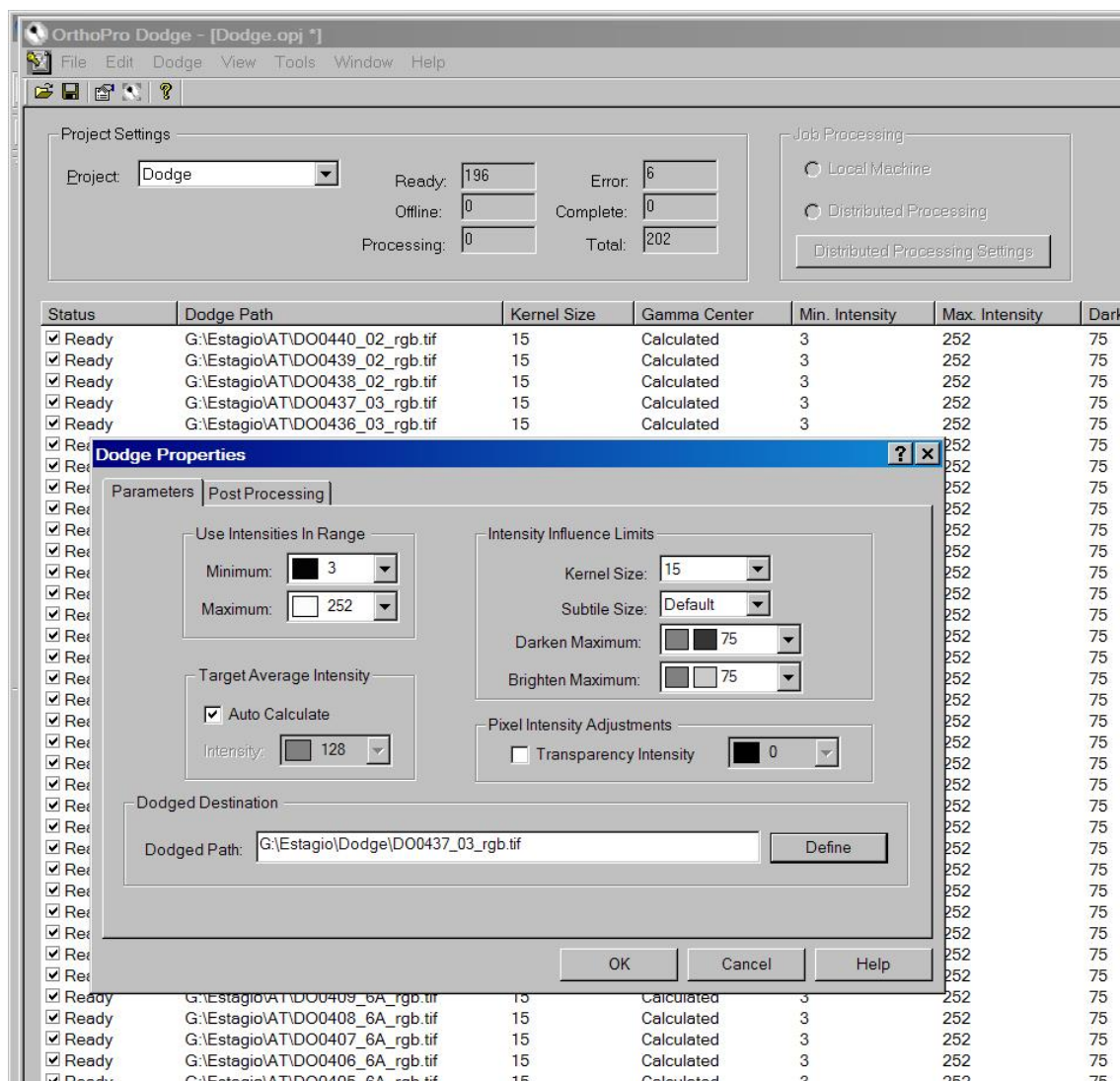


Figura 8.35 – Definição de parâmetros para realizar o *dodging* no OrthoPro.

Na opção Range Intensities, é definido o intervalo, introduzindo os valores de píxel mínimo e máximo que não vão ser incluídos nos cálculos de intensidade:

- *Minimum*, para especificar o valor abaixo do qual os valores de intensidade do píxel serão excluídos dos cálculos;
- *Maximum*, para especificar o valor acima do qual os valores de intensidade do píxel serão excluídos dos cálculos.

Target Average Intensity, disponibiliza os parâmetros para determinar um valor de intensidade do píxel central e a direcção de intensidade que vão ser deslocadas durante a suavização:

- *Auto Calculate*, esta opção permite que o valor do centro tonal da imagem de entrada seja calculado automaticamente em cada banda de cor, usando a média do histograma de todos os píxeis que caem dentro do intervalo dos valores mínimo e máximo especificados em *Range Intensities*. Para entrar com um valor específico, é necessário desactivar esta caixa de selecção e escolher um valor na caixa de selecção seguinte;
- *Intensity*, para especificar o centro tonal para valores de luminância (calculado a partir dos valores de cada banda de cor na convenção NTSC), para dados 8-bit, geralmente é usado o valor 127 como bitola de valores de intensidade de modo a suavizar os desequilíbrios de luz numa imagem.

Na opção *Intensity Influence Limits*, são definidos os parâmetros que influenciam verdadeiramente a intensidade do píxel no decorrer do processo *dodging*, a saber:

- *Kernel Size*, define a dimensão do kernel usada pelo algoritmo na interpolação bilinear. Um tamanho pequeno do *kernel*, 5x5 por exemplo, pode ser o suficiente para suavizar uma imagem com pouca diferença de tons na imagem input, sendo necessário o ajuste desse valor consoante as variações de tonalidade;
- *Subtile Size*, define o número de píxeis que serão incluídos no tamanho do *subtile* (área mínima de suavização), este deve ser um valor divisível pelo tamanho. O algoritmo de interpolação bilinear usado pelo *OrthoPro Dodge* aplica os valores de correcção individualmente a cada píxel;
- *Darken Maximum*, definir a correcção de intensidade máxima admissível, que é o valor do píxel pelo qual a intensidade é reduzida para compensar o excesso de brilho;
- *Brighten Maximum*, definir a correcção de intensidade máxima admissível, que é o valor do píxel pelo qual a intensidade é aumentada de forma a compensar as áreas sombrias;

Na opção Defining Pixel Intensity Adjustments, os parâmetros são os já explorados no menu OrthoPro Rectifier.

Na Figura 8.36 são observáveis as diferenças que se verificam no ortofoto após ter sido aplicado o algoritmo de *dodge*.

As opções *Image Output Options*, que definem os parâmetros de saída, formato, organização dos dados, tamanho da tela, método de compressão e tipo de pirâmide de visualização da imagem são exactamente as mesmas que já foram apresentadas no menu Image Output Properties do OrthoPro Rectify.

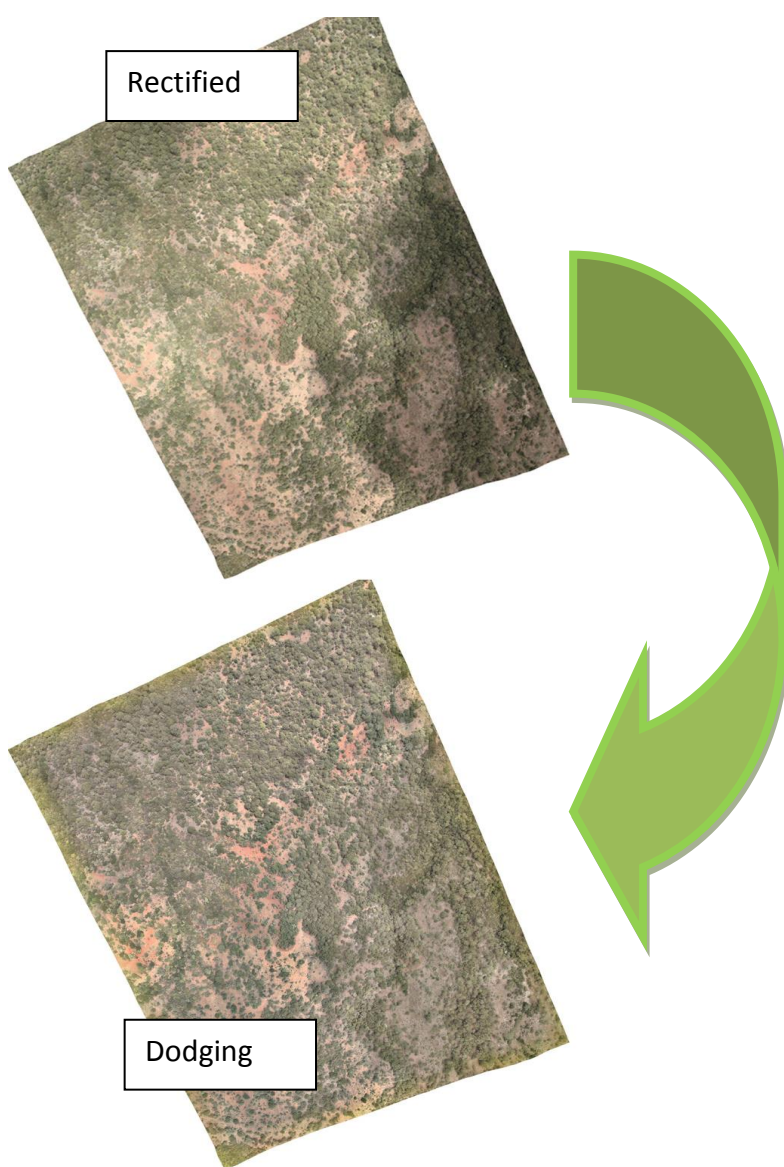


Figura 8.36 – Evolução da imagem rectificada para após processamento *dodging*.

8.6.5 *Seamlines*

A finalidade de gerar *seamlines* é definir as linhas em que os ortofotos digitais que se sobrepõem serão juntos de modo a criar um mosaico. Também definem a área que cada ortofoto contribuiu para o mosaico. O processo inicia-se com a criação das linhas de junção que formam polígonos, sendo a cada um destes associado um ortofoto.

O menu de criação de *Seamlines* (Figura 8.37) é invocado no painel de controlo do *OrthoPro* e fornece várias funções das quais se destacam:



Figura 8.37 – Definição de parâmetros para a criação de *seamlines* no *OrthoPro*.

- Importar *seamlines* criadas previamente;
- Calcular as *seamlines* usando um dos diversos métodos disponíveis;
- Rever e ou editar as linhas de junção dos ortofotos;
- Reavivar a base de dados após a conclusão da edição;
- Apagar todas as *seamlines* existentes.

A Figura 8.38 ilustra a sequência de tarefas do *workflow Creating Seamlines*, cujas descrições e opções serão especificadas seguidamente.

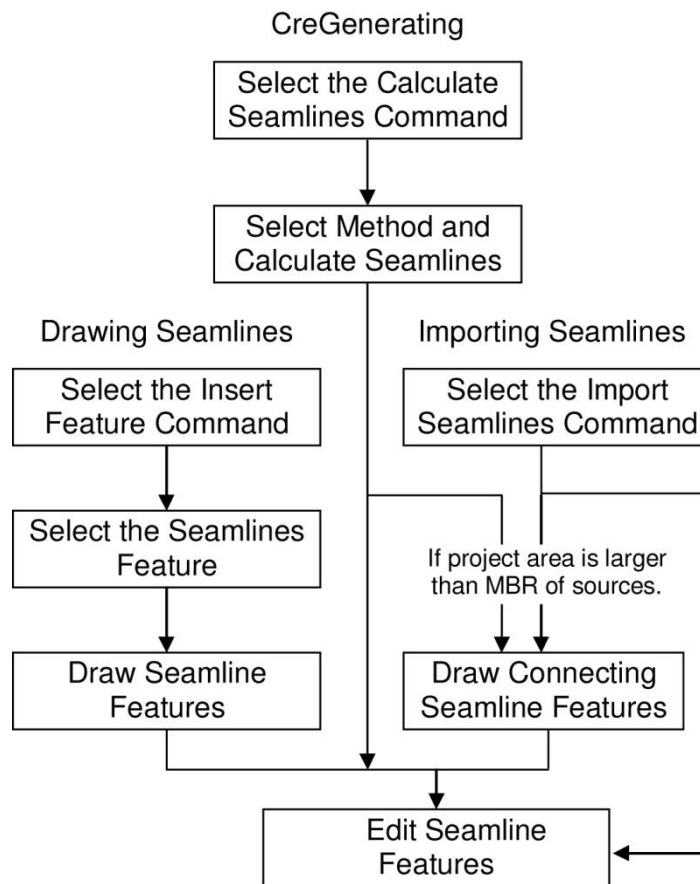


Figura 8.38 – Esquema com os menus dos parâmetros a definir para a criação de *seamlines* (adaptado de Z/I Imaging Corporation, 2009).

- *Drawn Seamlines*, no *OrthoPro* não existe um comando para desenhar as linhas de junção nos ortofotos, contudo recorre-se às ferramentas do GeoMedia para desenharmos as *seamlines* com uma ou mais características.
- *Calculated Seamlines*, no *OrthoPro* através do comando calcular *seamlines* é possível criar linhas nas áreas sobrepostas que podem variar em comprimento e em largura. Este comando é muito profícuo pois permite de forma automática gerar as linhas de junção de ortofotos, que a serem desenhadas manualmente consumiriam um bom tempo a um operador e em casos de projectos com muitas imagens este processo podia revelar-se desconcertante e mesmo inviabilizar o tempo útil agendado para a realização do projecto. O *OrthoPro* fornece quatro métodos para criação automática de *seamlines*: sendo os mais

usados, *Closest Camera Center Method* e *Smart Seams Method*, existindo outros dois *Single Source Method* e *Butt-Matched Orthos Method*, que segundo as orientações do *software* são usados em casos especiais, como tal não foram alvo ensaio na presente componente prática.

- *Closest Camera Center Method*, é usado para gerar áreas aproximadamente com o mesmo tamanho usando a parte central de cada ortofoto (Figura 8.39).

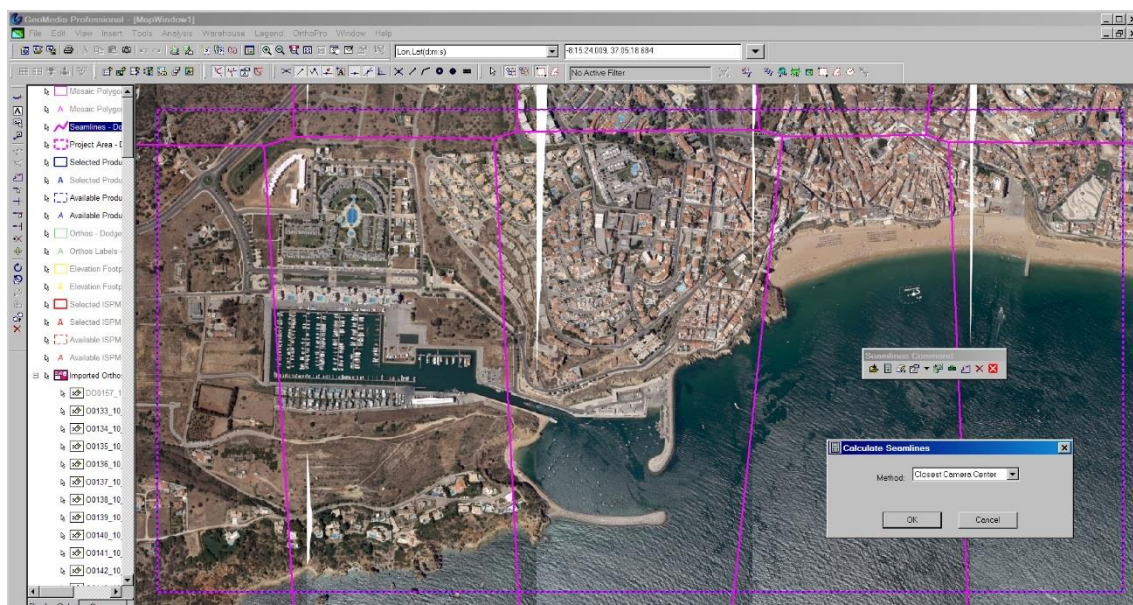


Figura 8.39 – Seamlines criadas com o método *Closest Camera Center Method* do *OrthoPro*.

- *Smart Seams Method*, são geradas através da correlação do valor de intensidade de píxel em ortofotos adjacentes, promovendo assim uma diferença mínima de tonalidade entre as junções. Esta opção permite ainda a escolha do valor da grelha de píxeis similares em que se pretende que a correlação seja realizada (Figura 8.40)

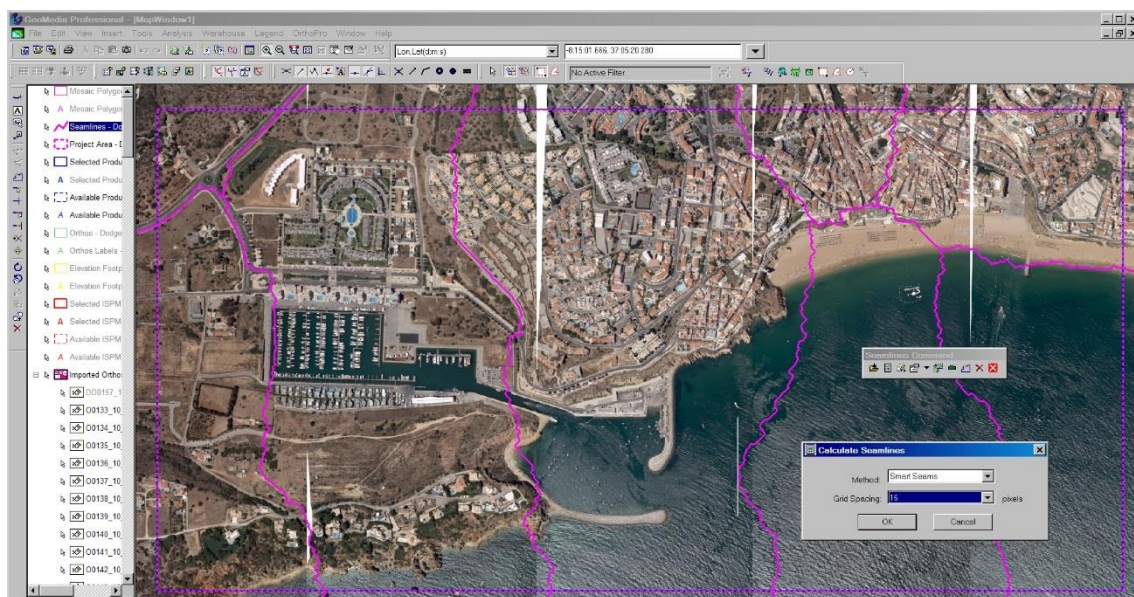


Figura 8.40 – Seamlines criadas com o *Smart Seams Method* do OrthoPro.

Seguidamente são visualizáveis graficamente os passos para criar as linhas de junção. Para gerar as *seamlines* é necessário fazer o *upload* das fotos no *OrthoPro* (Figura 8.41).

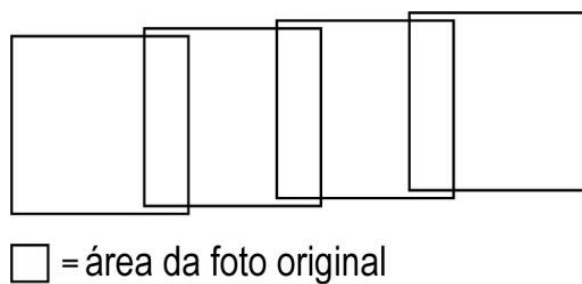


Figura 8.41 – Esquema com a área das imagens importadas.

As linhas de junção são desenhadas ao longo do contorno exterior da área útil e na linha central aproximada de cada área de sobreposição (Figura 8.42, Figura 8.43).

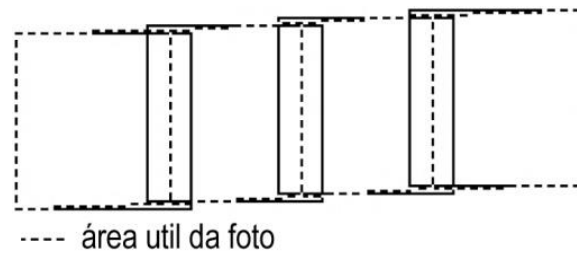


Figura 8.42 – Esquema com a área útil das imagens.

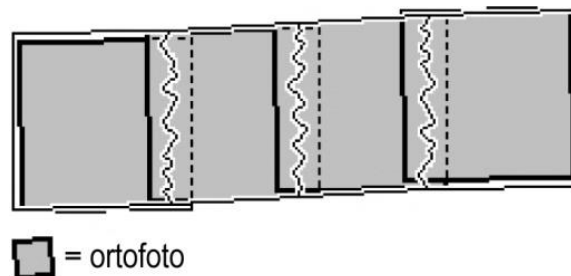


Figura 8.43 – Esquema com a área onde será feita a junção das imagens.

As linhas inteligentes são geradas nas áreas de sobreposição por meio de um algoritmo que utiliza o vector do caminho mais curto que se baseia na correlação dos píxeis com menor diferença de intensidade.

- *Export Seamlines*, opção para guardar as *seamlines* geradas em *OrthoPro* para um formato CAD (Figura 8.44), sendo possível ao posterior fazer o *upload* das mesmas para ambiente Geomedia ou até fazer a sua edição em ambiente CAD, o que é mais prático na maioria dos casos. A Figura 8.45, ilustra a edição de *seamlines* em ambiente MicroStation que posteriormente podem ser carregados para ambiente Geomedia.

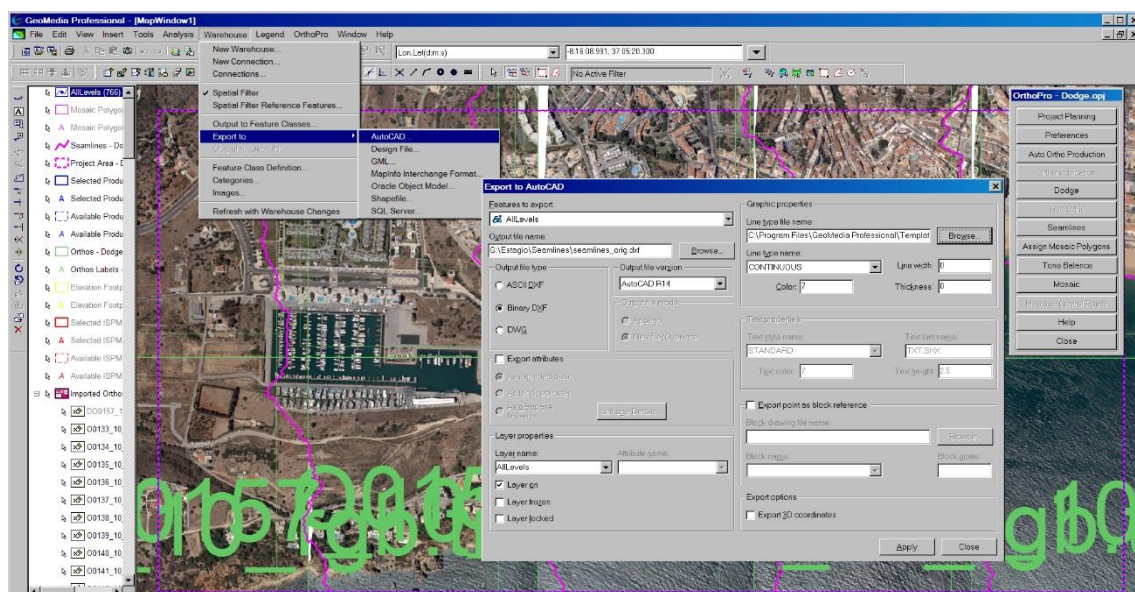


Figura 8.44 – Definição de parâmetros para exportação das *seamlines* no OrthoPro.

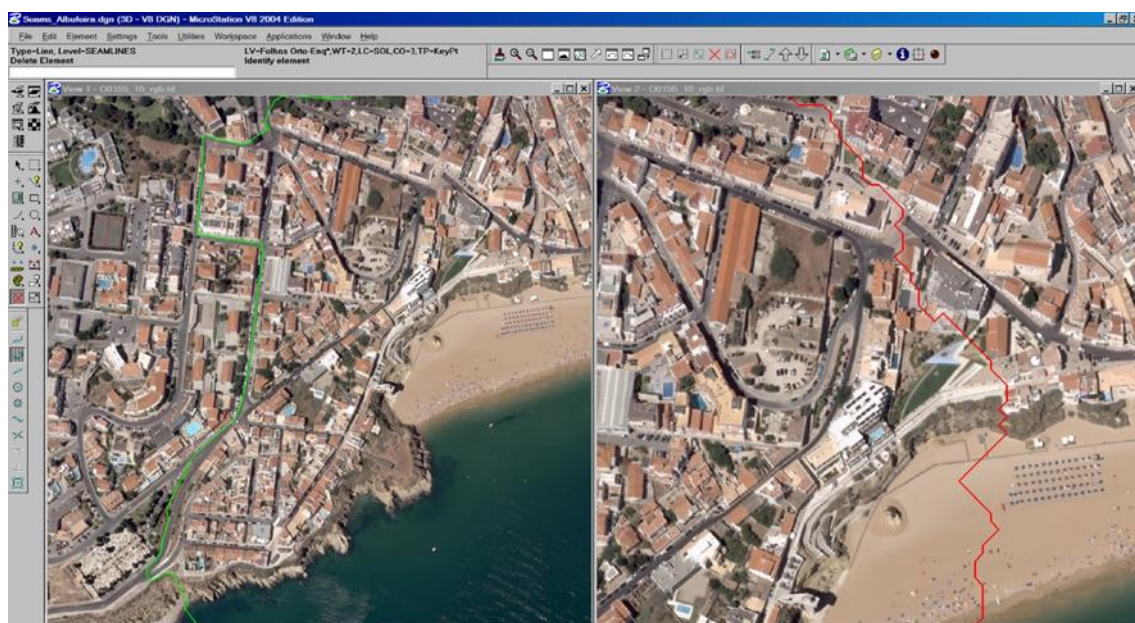


Figura 8.45 – Edição de *seamlines* em ambiente I/RASC.

- *Import Seamlines*, permite através de uma conexão realizada em ambiente GeoMedia, importar linhas de junção previamente geradas e ou editadas em *workflow OrthoPro*, ou em qualquer ambiente CAD. A Figura 8.46 demonstra como importar um ficheiro criado no ambiente CAD MicroStation.

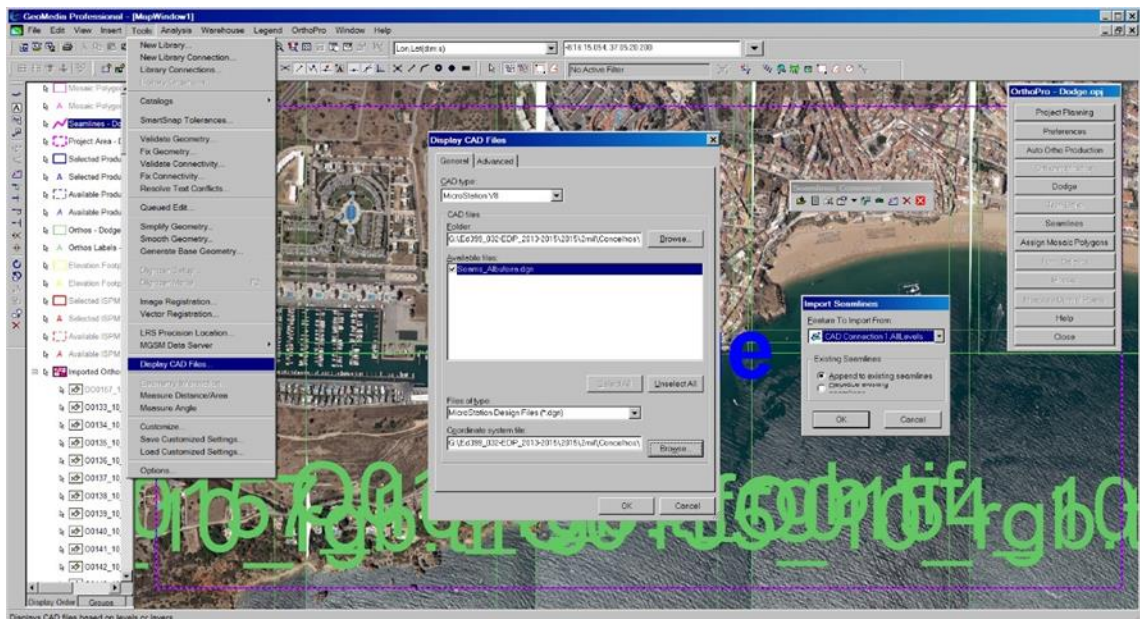


Figura 8.46 – Importação para ambiente Geomedia das *seamlines* previamente editadas.

8.6.6 Atribuição de polígonos para junção de imagens

Assigning Mosaic Polygons, o propósito da atribuição de polígonos aos ortofotos é de definir qual a área de cada imagem que será usada na composição do ortofotomapa. Os polígonos são gerados a partir das áreas delimitadas pelas *seamlines* criadas e editadas previamente.

A Figura 8.47, ilustra a sequência de tarefas do *workflow Assign Mosaic Polygons*, cujas descrições e opções serão discriminadas seguidamente.

Command *Selecting the Assign Mosaic Polygons*, analisa as *seamlines* e com base nestas, cria um conjunto de polígonos e a cada um atribui um identificador único. Na Figura 8.48 são visíveis os vários polígonos e o ortofoto associado a cada um deles. Quando se sobrepõe a um polígono mais que um ortofoto, este é associado à imagem cujo centro é mais próximo do centro do polígono

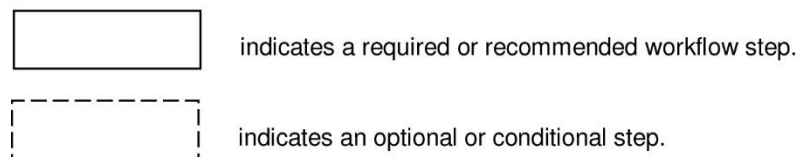
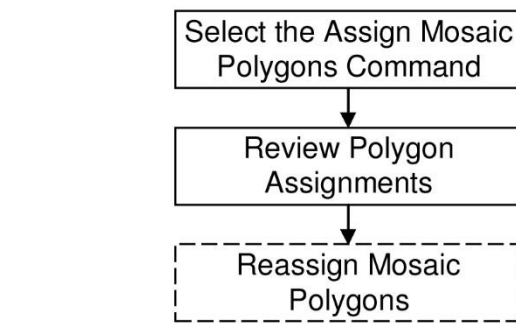


Figura 8.47 – Esquema com a sequência de passos para associação de um polígono a uma imagem (adaptado de Z/I Imaging Corporation, 2009).

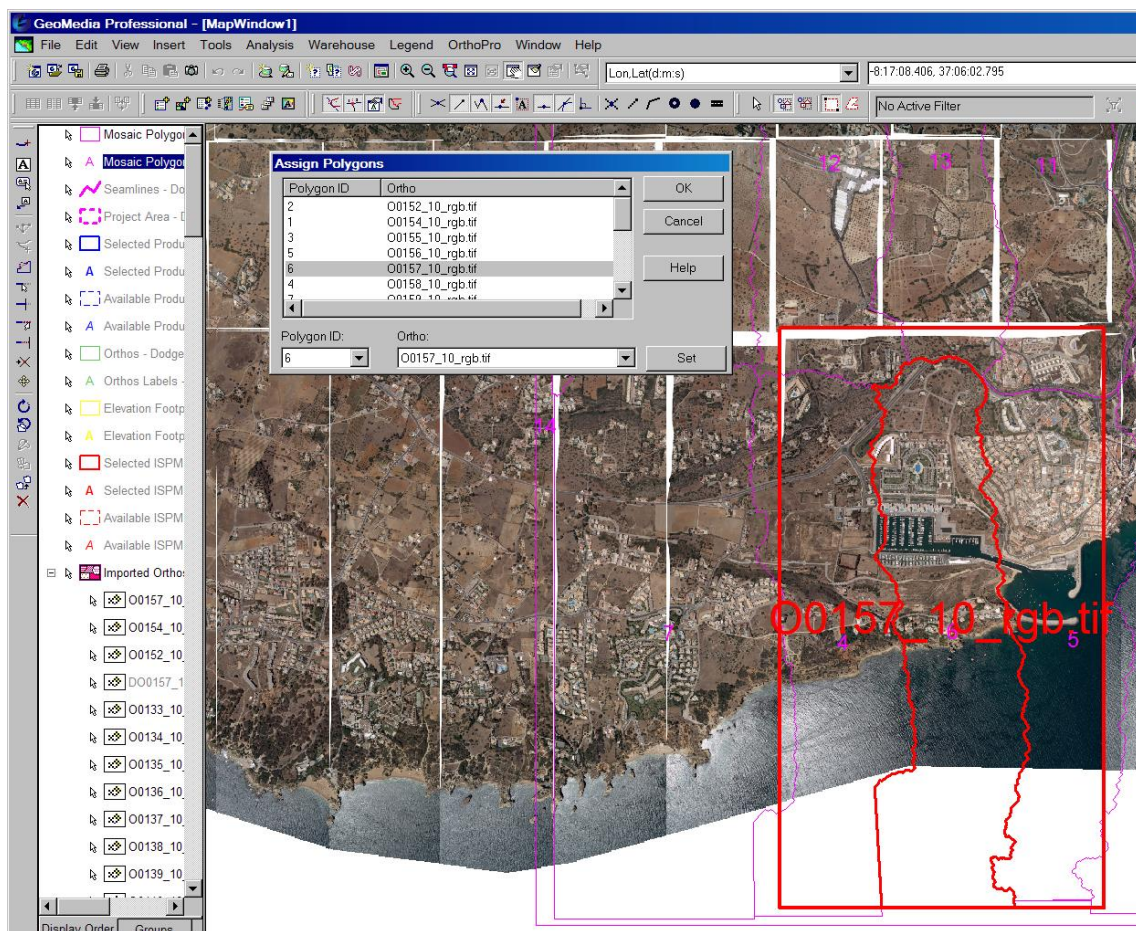


Figura 8.48 – Associação de um polígono a uma imagem no OrthoPro.

O comando *Reviewing Polygon Assignments*, não é mais que rever a lista de lista de atribuições na caixa de diálogo e verificar que a cada polígono é atribuído o ortofoto apropriado. Quando são detectados polígonos em que não existe ortofoto estes são definidos como *Black Holes* (buracos negros), sendo atribuído a estas áreas é atribuído o valor do *Pixel Intensity Adjustments*, 0 ou 255 consoante o determinado previamente.

Reassigning Mosaic Polygons, permite depois de rever a atribuição automática dos polígonos e caso esta não esteja completamente concordante com a preferência do operador, este, ter a possibilidade de seleccionar o ortofoto desejado.

Workflow Tone Balancing, atribuídos os polígonos de junção dos ortofotos pode existir a necessidade de fazer uma compensação radiométrica das imagens de modo a minorar os possíveis efeitos de transição de tom entre imagens adjacentes. Em situações em que a sobreposição entre imagens seja reduzida é recomendável seleccionar a opção *Narrow Ortho Overlap*, assim o *orthoPro* selecciona uma distância de cálculo mais curta, contribuindo assim para um melhor balanceamento (Figura 8.49).

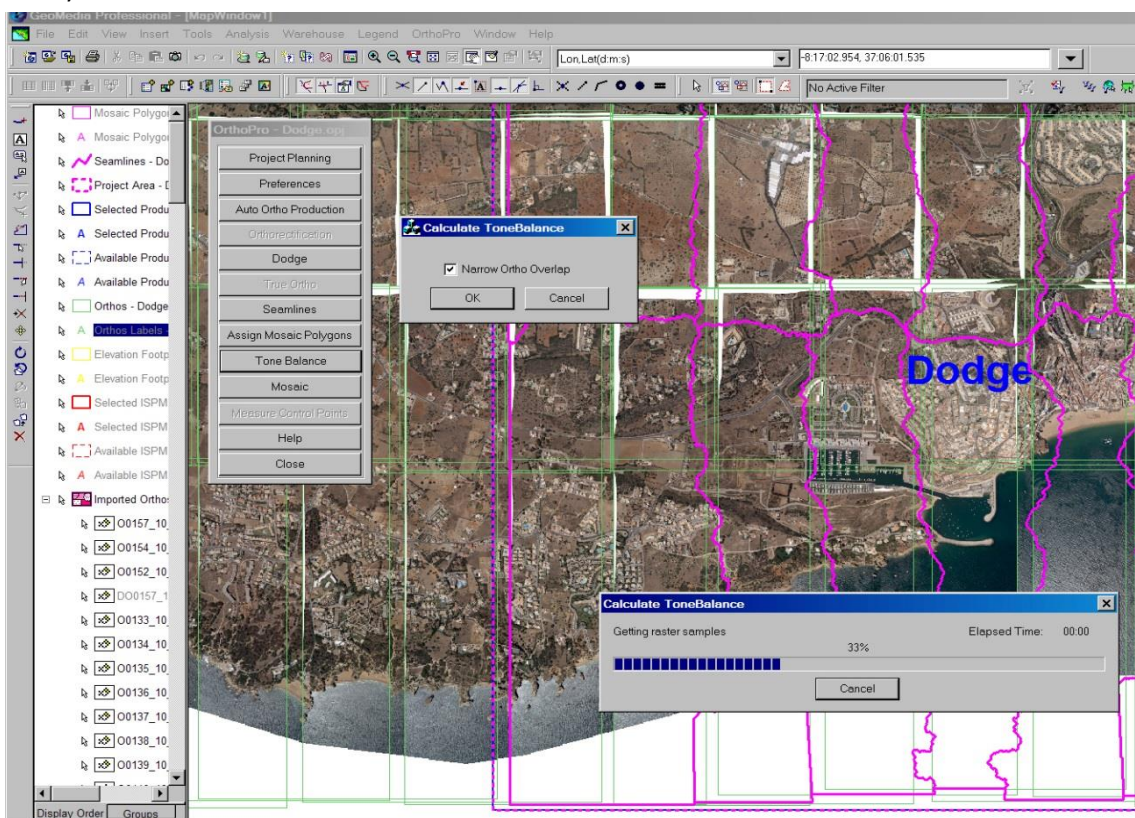


Figura 8.49 – Homogeneização automática de tom entre imagens adjacentes.

8.6.7 *Junção de imagens (mosaico)*

Mosaicking Images, selecionando na caixa de diálogo *OrthoPro Controle*, a opção *Mosaic*, acede-se ao menu *OrthoPro Mosaic*. É neste ambiente que é criado o produto final, o ortofotomapa. A Figura 8.50, ilustra a sequência de tarefas cujas descrições e opções serão detalhadas seguidamente

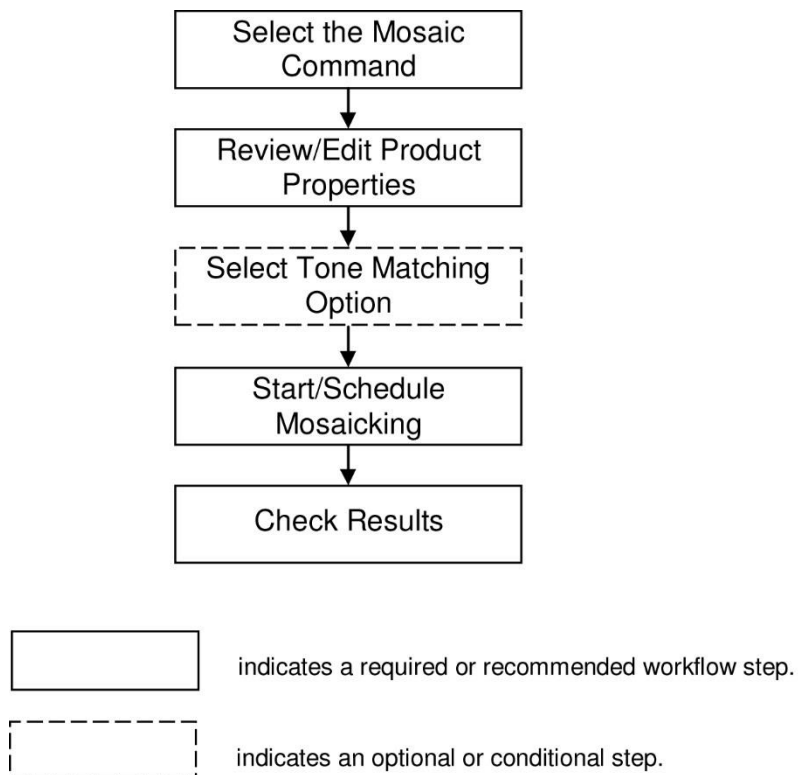


Figura 8.50 – Esquema com a sequência de passos para a criação de mosaico (adaptado de Z/I Imaging Corporation, 2009).

À semelhança dos menus anteriores, também o Reviewing and Editing Product Properties do *OrthoPro Mosaic*, tem como opções os parâmetros para definir os diversos atributos e formatos de arquivo dos produtos subsequentes, neste caso os ortofotomapas (Figura 8.51).

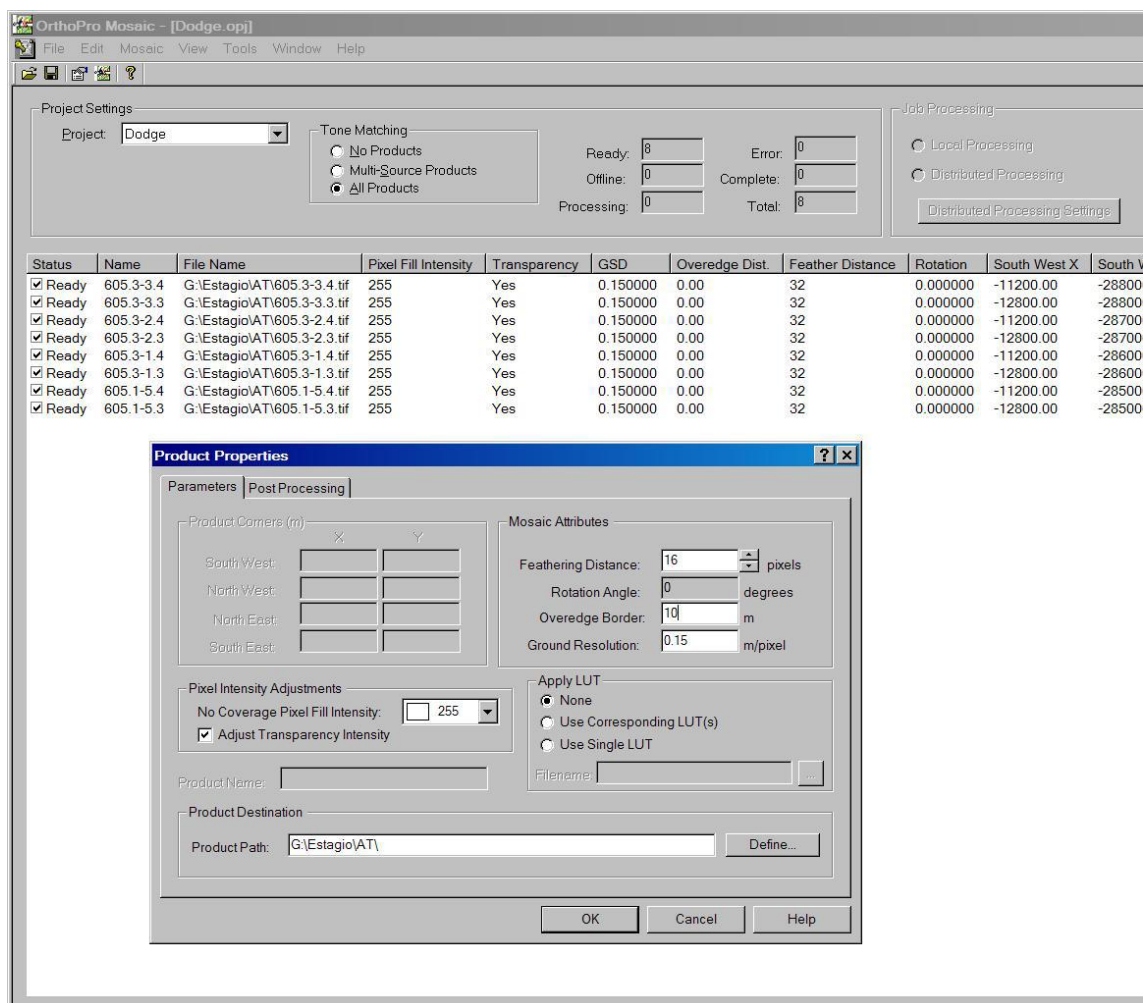


Figura 8.51 – Definição de parâmetros para a criação do ortofotomapa no OrthoPro.

No menu Mosaic Attributes, estão as opções para especificar os parâmetros de processamento do ortofotomapa:

Feathering Distance, tem como função especificar o número de píxeis da imagem, que se encontram de cada lado da *seamline* e que vão estar envolvidos numa mistura tonal que tem como função suavizar a transição de modo a tornar a linha de junção de imagens o menos visível possível. A Figura 8.52 ilustra um mosaico com uma distância de transição de 0 píxeis, onde a linha de transição está visível de forma muito vincada ao contrário da ilustração da Figura 8.53, onde tendo definido uma distância de transição de 16 píxel a mesma é praticamente imperceptível.

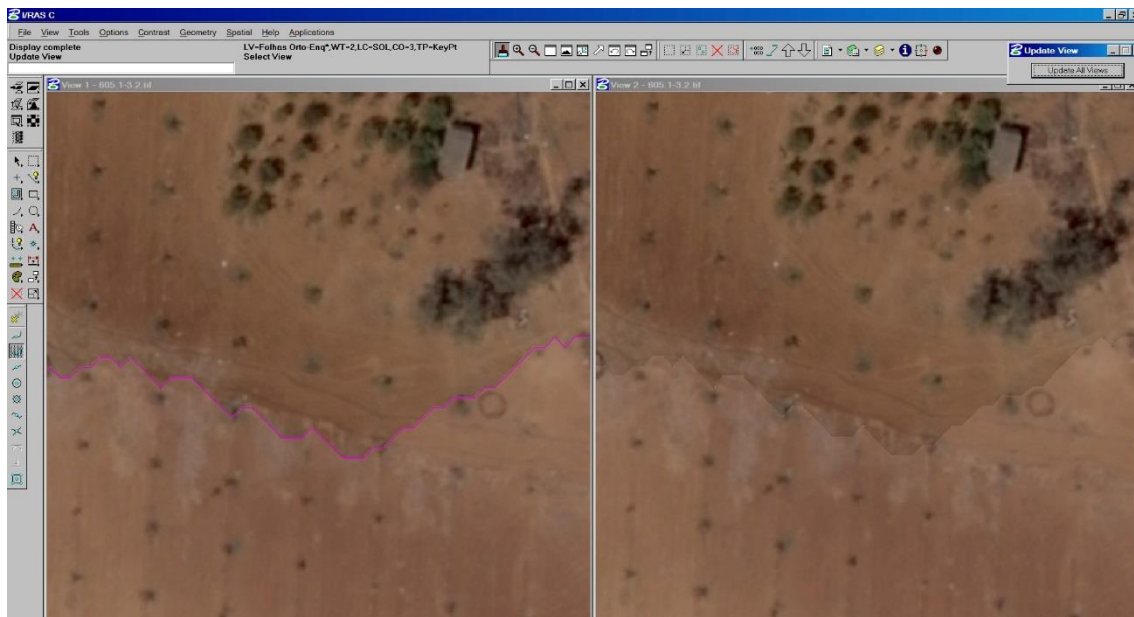


Figura 8.52 – Visualização da distância de transição de 0 píxeis, a mesma é muito notória.

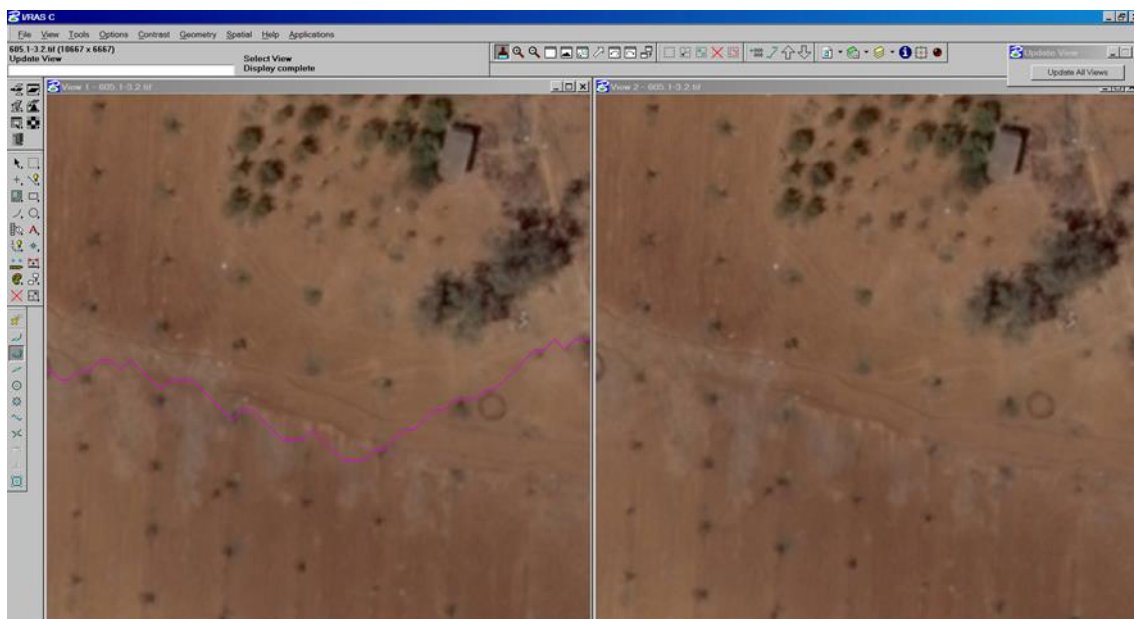


Figura 8.53 – Visualização da distância de transição de 16 píxeis, a mesma é praticamente imperceptível.

Rotation Angle, é um campo apenas de leitura e informa sobre o ângulo de rotação do produto.

Overedge Border, opção para determinar o número de metros adicionais que se pretenda que o ortofotomapa tenha para além do limite adicionado previamente. Esta

opção origina uma área de sobreposição entre ortofotomapas adjacentes, facilitando a sequência tonal, bem como uma posterior junção de vários ortofotomapas.

Ground Resolution, especifica a distância no terreno que é representada por cada píxel do ortofotomapa. No momento da criação do projecto *OrthoPro* uma opção semelhante permitia definir o tamanho de píxel para todo o projecto, neste passo a opção vai mudar o tamanho de píxel para um conjunto de ortofotomapas ou até mesmo para um único.

Na opção *Defining Pixel Intensity Adjustments*, os parâmetros são os já explorados no menu *OrthoPro Rectifier*. Especificam os valores de ajuste do píxel na imagem output, neste caso em áreas consideradas como área de trabalho, mas que não estão contempladas com ortofoto.

Applying Look up Table (LUT), é uma função que a partir de uma Tabela cria uma nova imagem em que os valores originais dos tons de cor dos píxeis foram manipulados de forma a melhorar a radiometria da imagem, esta alteração é muito significativa como pode ser observável ao comparar a janela esquerda da Figura 8.54, onde não foi realizada qualquer alteração radiométrica com a janela do lado direito que ilustra a mesma área após aplicação de uma *lut*.

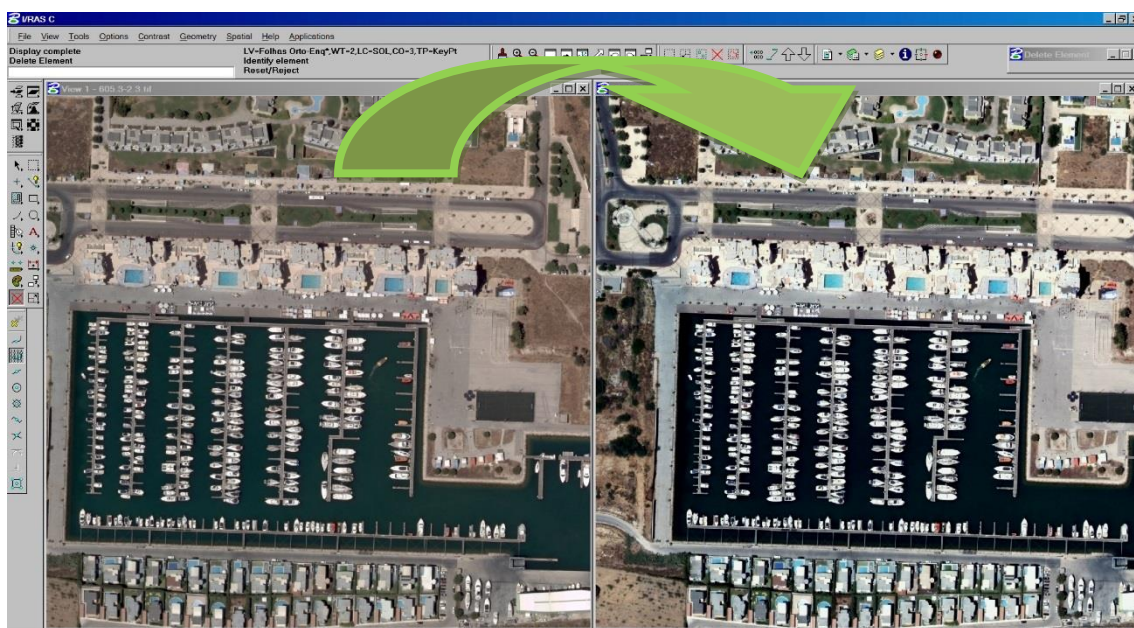


Figura 8.54 – Visualização da mesma área antes e após correcção radiométrica.

As opções *Image Output Options*, que definem os parâmetros de saída, formato, organização dos dados, tamanho da tela, método de compressão e tipo de pirâmide de visualização da imagem são exactamente as mesmas que já foram apresentadas no menu *Image Output Properties* do OrthoPro Rectify.

Concluídas as parametrizações resta escolher o local de escrita em disco, assim como, a designação a dar ao ortofotomapa se for único, caso sejam vários, será atribuído automaticamente a cada um o respectivo número concordante com o enquadramento.

A Figura 8.55, ilustra o *workflow* com os ortofotos e *seamlines* necessários para gerar os ortofotomapas para a área total do projecto, o perímetro urbano do concelho de Albufeira, cujo produto final é observável na Figura 8.56.

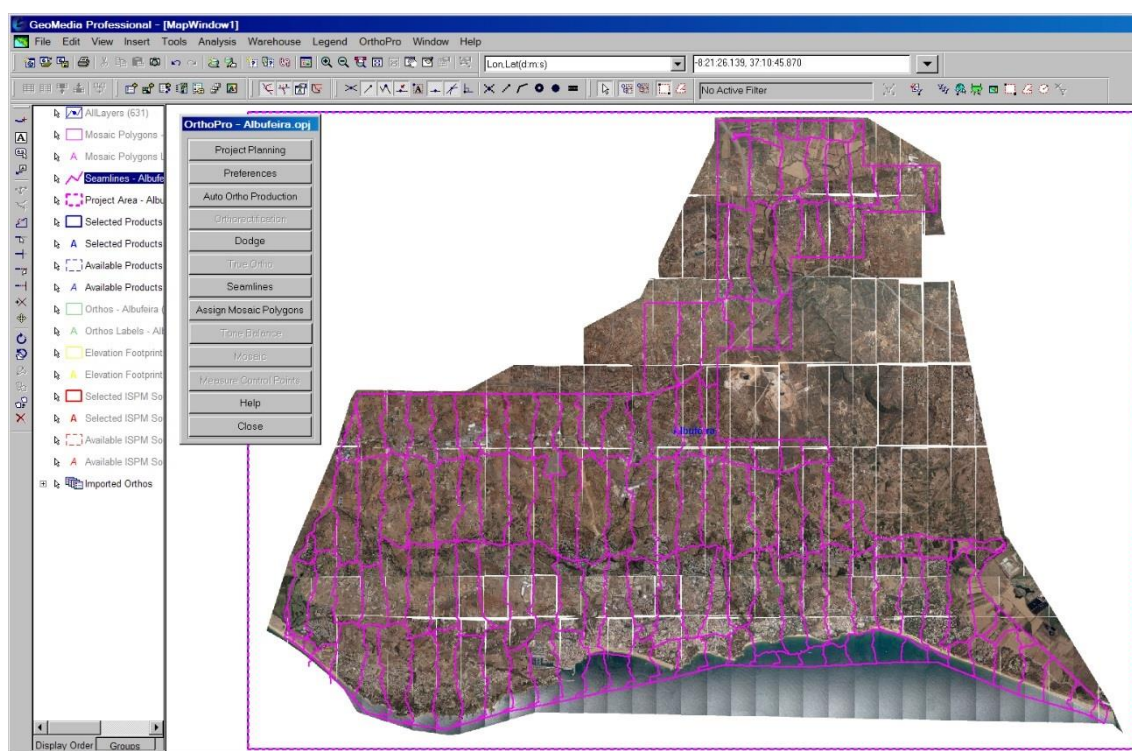


Figura 8.55 – Visualização do ambiente Geomedia com os ortofotos e seamlines para gerar os ortofotomapas.

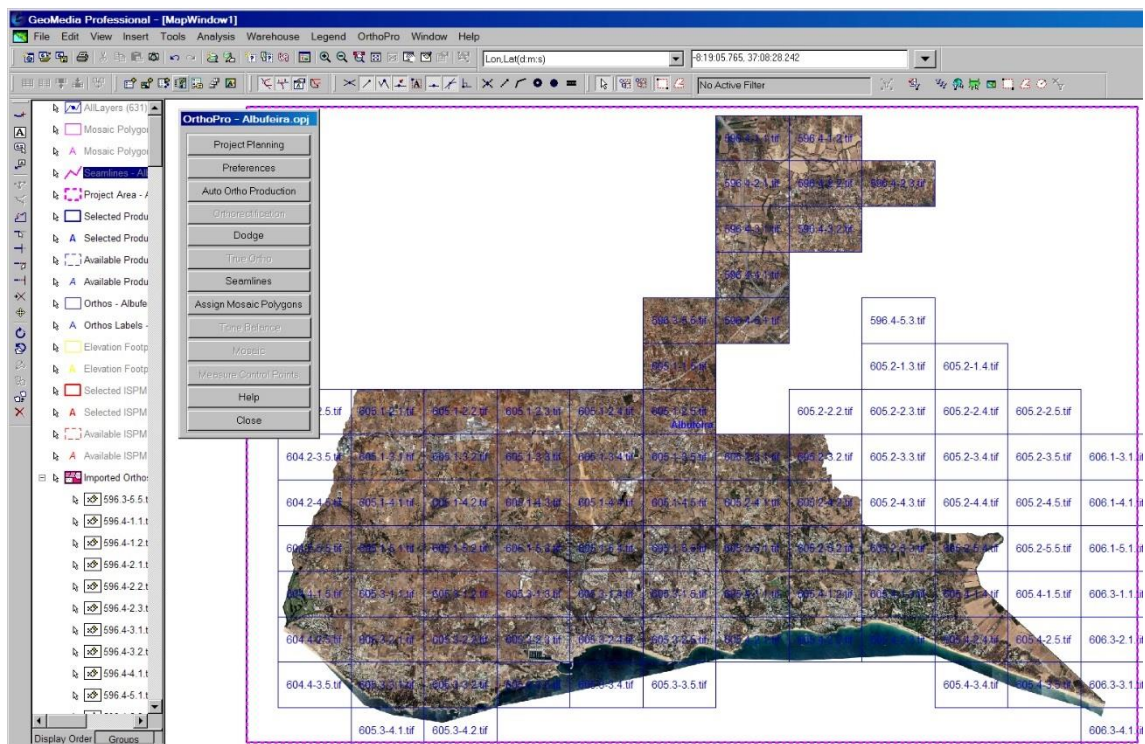


Figura 8.56 – Visualização dos ortofotomapas para todo o perímetro urbano de Albufeira.

9 Controlo da Qualidade Posicional e Radiométrica

9.1 Introdução

Terminada a criação do produto cartográfico ortofotomapa, procede-se então ao processo de controlo de qualidade do mesmo, este é organizado pelas seguintes etapas:

- Integralidade da imagem, esta deve corresponder cabalmente aos requisitos constantes no CE e ou previamente acordados entre as partes, sempre de acordo com os padrões inerentes à escala requerida;
- Qualidade da imagem, esta fase inclui a análise da qualidade radiométrica da imagem, tendo em conta, a luminosidade, sombras, contraste, assim como a existência de artefactos estranhos, resultantes por exemplo da presença de qualquer sujidade na lente da câmara;
- Distorções na imagem, esta fase inclui a análise pormenorizada de cada ortofotomapa, a fim de detectar distorções na imagem. Estas geralmente constituem Pontes deslocadas derivado à projecção provocada pela sua altura em relação ao terreno, edifícios esbatidos e terreno indefinido que devido ao fraco contraste dificulta a sua interpretação, zonas distorcidas da imagem, que geralmente são o reflexo de erros locais no MDT;
- Ligação entre ortofotomapas adjacentes e mosaicos, verifica-se se a criação de mosaicos está feita de acordo com as especificações, existindo uma continuidade nos elementos gráficos do solo. Verifica-se também, se existem lacunas ou sobreposição na ligação dos ortofotos;
- Consistência radiométrica do conjunto, é verificado se a imagem apresenta uma tonalidade uniforme de modo a que seja imperceptível a ligação entre ortofotos adjacentes;
- Precisão planimétrica, a precisão planimétrica dos ortofotomapas é aferida com a cartografia vectorial, sendo comparada a coerência posicional entre ambas;

Estas diversas fases podem ser agregadas em dois grandes grupos, controlo de qualidade posicional e controlo de qualidade radiométrica

9.2 Controlo Qualidade Posicional

Do ponto de vista da qualidade geométrica dos ortofotomapas, os parâmetros mais relevantes são os erros RMSEM e RMSEP (erro médio quadrático em M e P).

A qualidade do processo de rectificação pode ser aferida pela verificação da correspondência entre as coordenadas dos pontos dados na aerotriangulação e medidas sobre a imagem rectificada (controlo pontual externo). A estatística destas diferenças depende da altura de voo, da relação entre o número de pontos fotogramétricos, do número de modelos e das características operacionais do levantamento fotogramétrico.

Para além da estatística global dos desvios observados é igualmente importante a espacialização do erro em distância, ou seja, a determinação de regiões onde os desvios mais elevados se concentram, de forma a analisar em que medida é que a sua distribuição é aleatória ou não no território em estudo, e utilizar essa informação para melhorar a precisão geométrica do projecto.

No presente trabalho como ferramenta para realizar o controlo de qualidade foi usada a opção Measure Control Points Workflow do OrthoPro. Este ambiente possibilita o *upload* das coordenadas dos PF adquiridos em levantamento topográfico e usados ao posterior para realizar a aerotriangulação (Figura 9.1).

Seleccionado o ID do ponto de controlo a validar o *OrthoPro* regenera a vista imagem de forma a destacar a localização do ponto a ser medido, seguidamente basta clicar no alvo ponto de controlo na imagem e a cada medição feita são visualizadas as estatísticas actualizadas na caixa de diálogo (Figura 9.2).

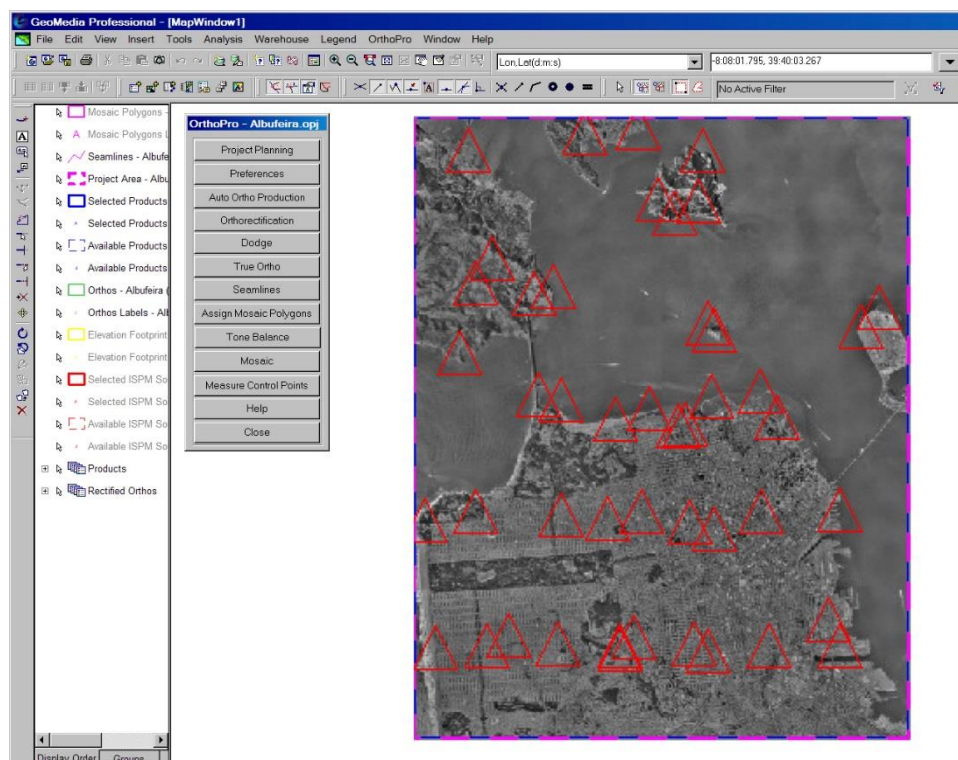


Figura 9.1 – Visualização nos ortofotomapas dos PF adquiridos em levantamento topográfico.

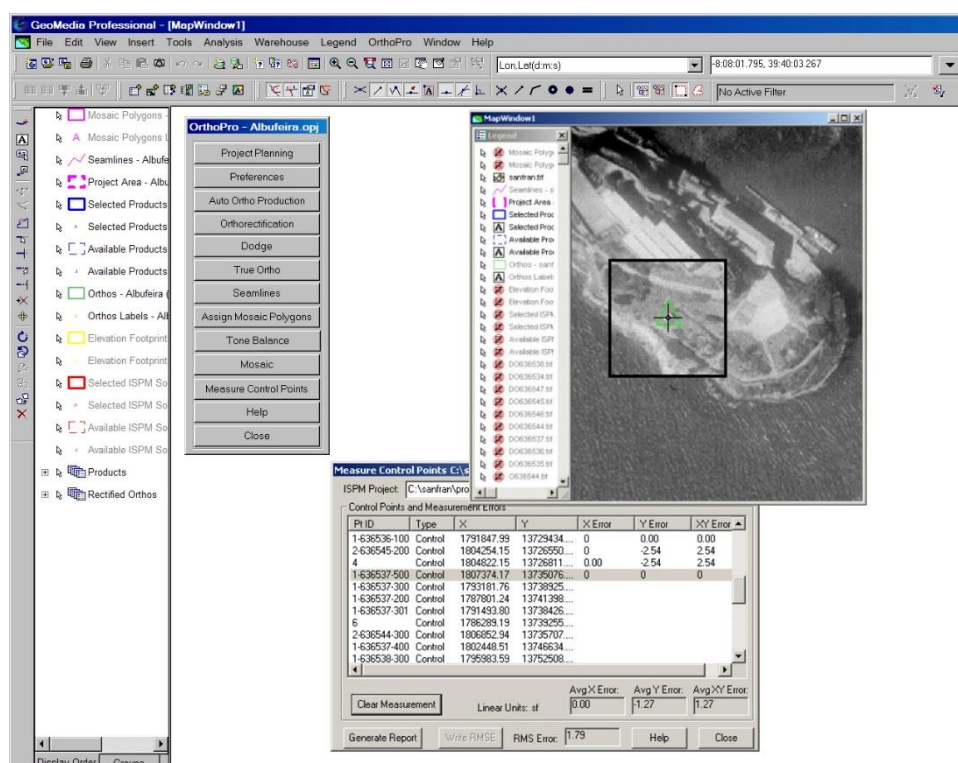


Figura 9.2 – Visualização nos ortofotomapas dos PF e das estatísticas de medição.

9.3 Controlo de Qualidade Radiométrica

É consensual que o processo digital de balanceamento deve ser diferenciado nas várias áreas da imagem e para cada uma das imagens de um conjunto, à semelhança do que acontecia anteriormente com o tratamento manual. Em ambiente digital, a adopção de rotinas automáticas que aplicam algoritmos matemáticos, substitui técnicas como a iluminação, tempo de exposição e efeitos causados por agentes químicos usados no tratamento das imagens.

De forma a possibilitar o processamento diferenciado das imagens digitais e promover o tratamento e minimização dos efeitos decorrentes das condições de realização do voo fotogramétrico, é necessário o recurso, a técnicas como a manipulação do histograma das imagens e o processamento individualizado dos canais RGB. Estas técnicas permitem modificar padrões de cor, brilho e contraste de uma imagem ou de uma área seleccionada da imagem. Os valores de intensidade atribuídos aos píxeis das imagens, de modo geral, seguem uma regra, aplicando-os de forma uniforme à totalidade da imagem.

Schowengerdt (1997) distingue as técnicas de manipulação do contraste de uma imagem digital em duas categorias: técnicas de transformação global e técnicas de transformação local. As técnicas de transformação global promovem o ajuste do histograma de igual forma para toda a extensão da imagem, enquanto as técnicas de transformação local promovem o processamento de um padrão adaptado a cada área subdividida da imagem.

Das várias técnicas de transformação global destacam-se:

- *Linear Stretch* (alongamento linear do histograma);
- *Nonlinear Stretch* (alongamento não linear do histograma);
- *Normalization Stretch* (alongamento do histograma seguindo uma normalização dos valores);
- *Reference Stretch* (ajuste do histograma de acordo com um histograma de referência);
- *Thresholding* (atribuição de limites aos níveis de intensidade de brilho atribuídos às imagens).

É de salientar que as técnicas *Normalization Stretch* e *Reference Stretch*, são as usualmente utilizadas para a homogeneização de imagens em que seja necessário minimizar as diferenças no padrão de cores, ocorridas por condições atmosféricas distintas, por uso de diferentes sensores ou por imagens provenientes de voos realizados em épocas distintas. Porém estas técnicas apenas atenuam os problemas de heterogeneidade entre as tonalidades das imagens a serem utilizadas na composição do ortofotomapa, sendo que para minimizar os efeitos atmosféricos, sombras, *hot spot* e nevoa atmosférica, é necessário executar um processamento local, capaz de se adaptar e promover o tratamento diferenciado, nas áreas afectadas por estes efeitos.

O tratamento de uma área circunscrita na imagem geralmente tem por base o uso de uma outra área que se considere como possuindo um padrão heterogéneo de distribuição da luminosidade da globalidade das imagens. Esta técnica permite que a área padrão seja utilizada para a compensação dos valores de intensidade do brilho e contraste, agindo como um filtro, no qual o valor atribuído a cada píxel é calculado em função do seu valor original e da correcção local proporcionada pela área padrão, permitindo a suavização dos efeitos atmosféricos.

A qualidade radiométrica das imagens aéreas é determinante para a fotointerpretação. Uma vez controlada a qualidade radiométrica das imagens originais, a perda eventual de qualidade radiométrica pode ocorrer na produção de mosaicos com histogramas desajustados.

A utilização generalizada da imagem digital, veio alterar os procedimentos de correcção radiométrica, com vista à homogeneização das tonalidades das imagens. O uso das fotografias aéreas sem a minimização dos efeitos da influência dos raios solares e dos efeitos não lineares causados pelo sistema de lentes, dificulta e reduz a qualidade de produtos, como ortofotos e ortofotomapas, sendo por exemplo uma das anomalias, a sensação de descontinuidade na junção das imagens.

O princípio do balanceamento de imagens digitais envolve a informações sobre a estatística da radiometria, extraída das próprias imagens e empregue de acordo com a necessidade de homogeneização.

Um dos conceitos amplamente usado em processamento digital de imagens é o de histograma (Figura9.3). É através deste que é possível analisar estatisticamente uma imagem digital. Constitui uma ferramenta básica de processamento digital de imagem, dado que fornece a distribuição de frequência dos níveis de cinza de uma imagem. O modelo matemático do histograma é dado pela razão entre o número de píxel com radiometria K , (valor que determina o brilho de uma superfície na imagem) e o número total de píxeis, onde K pertence ao intervalo dado pelo número máximo de níveis de cinza.

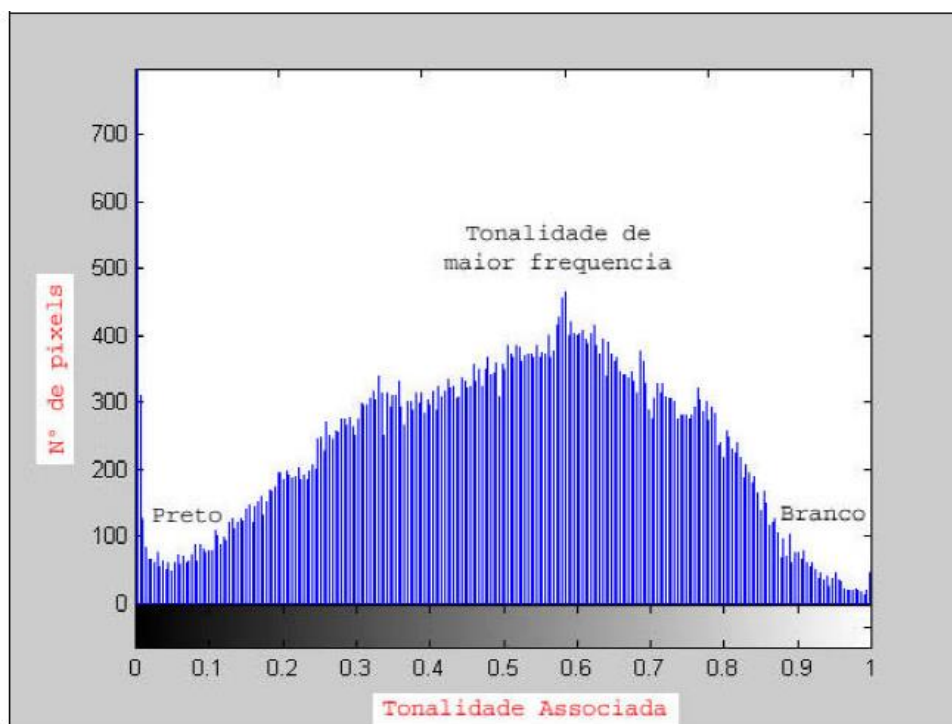


Figura 9.3 – Ilustração do histograma de uma imagem digital (adaptado de Z/I Imaging Corporation, 2009).

A curvatura do histograma caracteriza a distribuição estatística das tonalidades na imagem, sendo que, uma simples manipulação na forma da curvatura do histograma pode alterar directamente os parâmetros de brilho e contraste. Segundo Novo (1992), os histogramas tendem, em geral, a apresentar uma forma que se aproxima da forma de uma distribuição gaussiana, com um maior alongamento da curva em direcção aos níveis de cinza com radiância mais elevados. Ainda, segundo a mesma autora, em imagens com baixo contraste, o histograma apresenta uma forma

mais estreita, com menor variância dos níveis de cinza (ilustração a) da Figura 9.4), enquanto as imagens que possuem um contraste alto, apresentam histogramas mais abrangentes, consequentemente com maior variância dos níveis de cinza (ilustração b) da Figura 9.4).

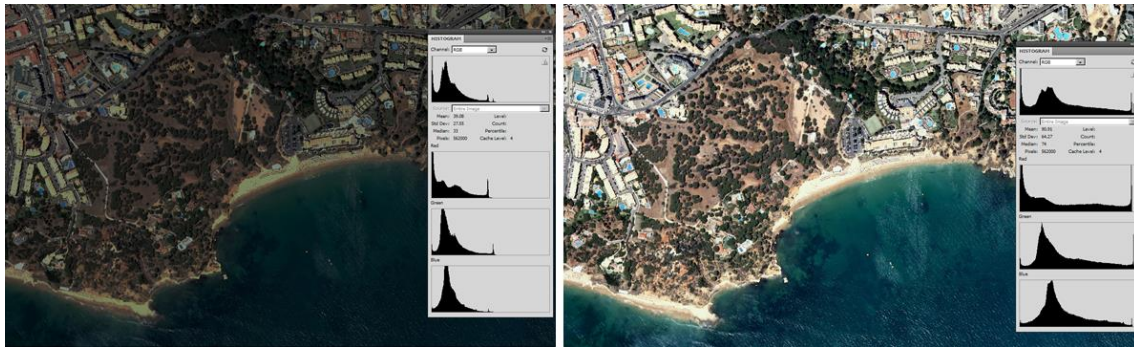


Figura 9.4 – Imagem com baixo contraste e respectivo histograma(a), imagem com alto contraste e respectivo histograma (b) (adaptado de Z/I Imaging Corporation, 2009).

No ortofotomapa produzido em âmbito de estágio curricular, as correções realizadas localmente variaram na técnica escolhida em função do tipo de irregularidade e dimensão das mesmas. Estas técnicas utilizadas no tratamento localizado de imagens digitais, podem ser realizadas de forma manual ou através da criação de automatismos a executar em *softwares* focados na edição de imagem, pessoalmente e baseado no conhecimento e prática, adquiridos, quando se trata de áreas diminutas e ou circunscritas, tenho preferência pelo aplicativo Adobe Photoshop, pois oferece um enorme leque de opções para manipulação e tratamento de imagem digital.

10 Considerações Finais

A constante evolução, mas também o fácil acesso e complementaridade entre as mais diversas tecnologias, aliados à urgência do conhecimento e à necessidade de formular opiniões decisórias mais assertivas, vulgarizou a utilização da cartografia. Com maior ou menor resolução, melhor ou pior precisão, a cartografia não constitui um fim em si mesma, mas antes, um suporte para alcançar outro objectivo mais complexo, a interpretação e estudo do território.

A detecção remota acompanhou esta evolução, definindo-se actualmente como uma ciência e tecnologia de aquisição de informação sobre um objecto sem contacto directo entre este e o sensor. Pode-se então depreender que todo o processo de aquisição de informação não só se tornou menos moroso como também menos oneroso, dado que uma grande parte dos processos é realizada com recursos a automatismos computacionais.

A avaliação da cartografia está directamente dependente da escala requerida e dos objectivos para os quais foi efectuada. Congrega factores como a exactidão temática, a exactidão temporal e a exactidão posicional, dependendo esta do rigor incutido em todas as fases de concepção dos dados. No processo fotogramétrico, as equações de colinearidade traduzem a relação entre as coordenadas terreno e as coordenadas foto, em função de parâmetros como a distância focal, a altitude de voo, a precisão de leitura das coordenadas imagem e o erro na determinação dos ângulos de Euler. No ortofotomapa pode verificar-se a influência destes factores na sua qualidade enquanto produto cartográfico.

Ao longo da prática do processamento não foram obtidos os resultados esperados em alguns dos procedimentos, nomeadamente na edição do MDT, na criação de *seamlines* de forma automática e na constatação de diferenças radiométricas muito notórias. Estes erros foram detectados após a produção de uma versão *draft* do ortofotomapa.

A resolução destas inconformidades, passou por uma nova edição das zonas em questão do MDT, por uma validação manual das *seamlines* anteriormente geradas

automaticamente e por uma melhor compensação radiométrica das imagens de modo a minorar os efeitos de transição de tom entre imagens adjacentes.

Procedeu-se seguidamente a nova criação do ortofotomapa. Obtida uma nova versão, ainda era notória, alguma inconsistência radiométrica em áreas circunscritas, sendo necessário o recurso a um editor de imagem, no caso, o aplicativo Adobe Photoshop.

Pôde verificar-se que, considerando os melhores valores para a precisão de leitura das coordenadas foto, a altura de voo adequada, e a exactidão do mesmo, a precisão obtida é inferior ao exigido no CE, no caso concreto para um ortofotomapa com um GSD de 0.15m, os pormenores topográficos ao nível do terreno ou em estruturas elevadas ortorretificadas têm de apresentar um EMQ inferior a 0,30 m em planimetria, o valor de EMQ inferior obtido foi substancialmente inferior, fixando-se nos 0,21 m.

Para garantir a obtenção destes resultados foram necessárias elevadas competências ao nível do processo fotogramétrico, potencial humano experiente, assim como uma utilização de instrumentos e aplicações bastante rigorosa.

Sendo o ortofotomapa uma representação fiável do território, cuja produção é mais célere, envolvendo menores custos, comparativamente à cartografia vectorial, dita tradicional, este permite uma actualização com espaços temporais mais curtos. Como tal o ortofotomapa, constitui-se como uma informação acrescida de valor para a tomada de decisão na gestão do território e uma forte valia para trabalhos em ambiente SIG.

Rui Pedro Julião (2000) expõe, que em termos práticos o recurso às imagens no âmbito de projectos SIG, faz-se de acordo com três perspectivas diferentes:

- Utilização como um dos atributos das entidades espaciais, assim além de todo o conjunto de informação alfanumérica que descreve uma determinada entidade, é possível associar-lhe imagens e ou vídeos;
- Utilização nomeadamente do ortofotomapa, como suporte à contextualização de dados ou proceder à aquisição e validação de informação vectorial;

- Utilização da imagem como input e output dos processos de análise espacial, pois permitem por exemplo obter uma cobertura do território decomposta em vários canais de informação espectral, de forma a se extrair informação da leitura conjugada dos diversos canais espectrais, como é o caso do índice de vegetação.

O autor ao observar o papel que as imagens podem desempenhar no âmbito de projectos SIG, questiona-se, se se está exclusivamente a produzir tecnologias para a Geografia (entre outras ciências) ou se se está a desenvolver uma nova Geografia que incorpora no seu *modus operandi* uma forte componente tecnológica, concluído que se caminha para um estilo de fazer geografia mais próximo das efectivas necessidades do cidadão e da sociedade e que, sendo o modelo de sociedade actual e futuro o da Sociedade de Informação, então se trata efectivamente de uma nova geografia.

Já Jorge Rocha (2005), propõe a apresentação dos resultados de um projecto que teve por objectivo o desenvolvimento e validação numa área de teste, de uma forma melhorada de classificação de imagens que integra, em ambiente SIG, dados provenientes dos Censos e de Detecção Remota. Assim não só consegui classificar as diferentes classes de ocupação do solo como associar-lhe informação proveniente dos dados censitários. O autor traduz o ganho conseguido com a classificação automática de imagens comparativamente à análise realizada por um foto-interprete, dando o exemplo, numa área edificada de 5000 km² com um espaço verde de 300 m² incluso, tem tendência a considerar tudo como mancha urbana, enquanto na classificação automática de imagens, mesmo que exista um só píxel com reflectância diferente, ele é adjudicado à outra classe.

Este estágio de âmbito empresarial foi muito profícuo. No seu decurso ao apreender os conhecimentos teóricos, pude confrontar e consolidar as técnicas práticas, por mim adquiridas ao longo destas décadas de trabalho. É muito gratificante a percepção de que o mesmo contribuiu para me tornar um profundo conhecedor na área da detecção remota em particular, bem como, um hábil perito em Sistemas de Informação Geográfica.

11 Referências Bibliográficas

- Ariza, J. (2002) – *Calidad en la Produccion Cartográfica*. Espanha: Ra-Ma.
- Baltsavias, Emanuel P. (1999) - *A comparison between Photogrammetry and LASER scanning*. Journal of Photogrammetry and Remote Sensing.
- Baltsavias, Emanuel P. (1999a) - *Airborne LASER Scanning: existing systems and firms and other resources*. Journal of Photogrammetry and Remote Sensing.
- Baxes, G.A. (1994) - *Digital Image Processing, Principles and Applications*. New York: John Wiley & Sons.
- Berberan, A. (2003) - *Operações Complementares, Introdução*. In *Elementos de Fotogrametria, Aplicada a aquisição de informação geográfica*. Gráfica Europam, Lda.: Mem Martins
- Brito, J. e Coelho, L. (2002) – *Fotogrametria Digital*. Rio de Janeiro: Instituto Militar de Engenharia.
- Casaca, J.; Matos, J.; Baio, M. (2000) – *Topografia Geral 2ª Edição*. Lisboa: Lidel;
- Complementos de Topografia* (2001) - Instituto Geográfico do Exército. Lisboa.
- Cramer, M. (2004) - The EuroSDR network on digital camera calibration, Report Phase 1.
- Dörstel C., Jacobsen K., Stallmann D. (2003) – *DMC - Photogrammetric accuracy - Calibration aspects and Generation of synthetic DMC images*. Zürich: Baltsavias/Grün, Optical 3D Sensor Workshop.
- Heipke, C. (1995) – *State-of-the-art of digital photogrammetric workstations for topographic*. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, Nº 01. Ottawa, Canada.
- Helava, U. V. (1992) - *State of the art in digital photogrammetric workstations*. ACSM-ASPRS, Annual Convention, vol. 2. Washington, USA.
- Helava, U. V. (1992a) - *Prospects in digital photogrammetry*. ACSM-ASPRS, Annual Convention, vol. 2. Washington, USA.
- Instituto Geográfico do Exército (2008) - *Noções Gerais de geodesia*, Lisboa.
- Jensen, J. R. (2007) - *Remote Sensing of the Environment*. Pearson Prentice Hal.
- Julião, R.P. (2000) - *A imagem em Sistemas de Informação Geográfica*. GeolNova, 4-2001.

- Kraus, K., Rieger, W. (1999) - *Processing of LASER scanning Data for Wooded Areas*. 47th Photogrammetric Week Proceedings. Stuttgart.
- Lillesand, M. T., Kiefer, R. W. (2000) - *Remote Sensing and Image Interpretation*. New York: John Wiley & Sons.
- Lillesand, M. T., Kiefer, R. W., Chipman, J. W. (2008) - *Remote sensing and image interpretation*. Hoboken, NJ: Wiley & Sons.
- Lintz, Jr., J., Simonett, D.S. (1976) - *Remote Sensing of Environment*. Addison-Wesley;
- Meng L. et al., (2010) - *Ground Filtering Algorithms for Airborne LiDAR Data*. A Review of Critical Issues.
- Novo, E. M. L. M. (1989) - *Sensoriamento Remoto: princípios e aplicações*. São Paulo: Edgard Blücher.
- Redweik, P. (1998) – *Fotogrametria I – Apontamentos de Aulas, Texto não publicado*. Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa. Lisboa.
- Redweik, P. (1998) – *Fotogrametria II – Apontamentos de Aulas, Texto não publicado*. Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa. Lisboa.
- Redweik, P. (2007) - *Fotogrametria Aérea*. Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa. Lisboa.
- Rocha, F. J. (2005) – *Detecção Remota e Sistemas de Informação Geográfica para Produção de Cartografia de Uso e Ocupação do Solo*. Finisterra, XL, 80.
- Schowengerdt, R. A (1997) - *Remote Sensing Models and Methods for Image Processing*. San Diego.
- Wilfried, L. (2016) - *Digital Photogrammetry, A Practical Course*. Berlin: Springer;
- Wolf, P.R. (1983) - *Elements of Photogrammetry*. McGraw-Hill.
- Zeitler W., Dörstel C., Jacobsen K. (2002) - *Geometric calibration of the DMC: Method and Results*. Denver, USA: Proceedings ASPRS.
- Z/I Imaging Corporation (2009) - *ImageStation OrthoPro Help*. United States

<https://www.studyblue.com/notes/n/history-of-photography>

<https://www.theatlantic.com/technology/archive>

<http://modelingmadness.com/review/w1/ger/bakertaube.htm>

<https://www.britannica.com/topic/TIROS>

<http://leica-geosystems.com/products/airborne-systems/imaging-sensors>

[http://www.dgterritorio.pt/static/repository/2013-06/2013-06-12113243_b511271f-54fe-4d21-9657-24580e9b7023\\$\\$AFDA8D9B-EF30-442B-9022-55AF414B4F03\\$\\$9A960B05-287D-42CF-892C-41FE9077D806\\$\\$file\\$\\$pt\\$\\$1.pdf](http://www.dgterritorio.pt/static/repository/2013-06/2013-06-12113243_b511271f-54fe-4d21-9657-24580e9b7023$$AFDA8D9B-EF30-442B-9022-55AF414B4F03$$9A960B05-287D-42CF-892C-41FE9077D806$$file$$pt$$1.pdf)

Anexo

Aeronaves Civis Não Tripuladas

As aeronaves civis não tripuladas (*unmanned aerial vehicle*, (UAV), usualmente conhecidas como “Drones”, pilotadas a partir de uma estação de piloto remoto ou com capacidade de operar autonomamente, devido ao seu reduzido custo de aquisição e uma fácil operacionalidade, face às aeronaves tradicionais, vieram acrescentar novas realidades e soluções na realização de levantamentos aerofotogramétrico.

O Centro de Estudos Geográficos (CEG), unidade de investigação do IGOT, confirmando-se como a principal unidade de investigação geográfica em Portugal e com grande projecção internacional, acompanhando a evolução tecnológica dos sistemas de detecção remota, adquiriu um UAV HISURF2, apelidado “Suzanne Daveau” (Figura), para utilização académica e científica, onde se pode destacar a participação no Programa Polar Português (PROPOLAR).



Lançamento do UAV Suzanne Daveau

Dada a actual utilização generalizada dos “Drones”, pilotados a partir de uma estação de piloto remoto ou com capacidade de operar autonomamente, seja em actividades de recreio, desportivas, de interesse público ou de natureza comercial, como a produção cartográfica e tendo sido verificados diversos incidentes causados por utilizadores incautos, dado ainda não existir, a nível internacional ou europeu, legislação harmonizada especificamente aplicável à utilização e operação deste tipo de aeronaves, a Autoridade Nacional da Aviação Civil (ANAC), propôs a consulta pública, nos termos do 30.º dos Estatutos da ANAC, aprovados pelo Decreto-Lei n.º 40/2015, de 16 de Março, o Regulamento de condições de operação aplicáveis aos sistemas de aeronaves pilotadas remotamente.

Concluída a discussão e consulta pública, foi aprovado o Regulamento relativo às condições de operação aplicáveis à utilização do espaço aéreo pelos sistemas de aeronaves civis pilotadas remotamente (“Drones”), Regulamento n.º 1093/2016, de 24 de Novembro de 2016, publicado no Diário da República, 2.ª Série, n.º 238, de 14 de Dezembro e que entrara em vigor a 13 de Janeiro de 2017.

Este regulamento existe para garantir a segurança operacional do espaço aéreo, que implica regras que antes não existiam, tornando mais segura a utilização dos drones no espaço aéreo, por motivos profissionais ou recreativos.

A ANAC criou o sítio <http://www.voanaboa.pt/>, onde disponibiliza o que designa como “Código Drone” que é um conjunto de normas de conduta que resume algumas regras básicas que devem ser seguidas, para poder garantir um voo seguro. Possibilita também a consulta e descarga do Regulamento relativo às condições de operação aplicáveis à utilização do espaço aéreo pelos sistemas de aeronaves civis pilotadas remotamente (*Remotely Piloted Aircraft Systems*, “Drones”, RPAS), bem como um Guia de Utilização do Espaço Aéreo, um ficheiro *Kmz* onde é possível confirmar as zonas livres ou com restrições do ponto de vista aeronáutico e também onde o sobrevoo não é permitido, por razões que se prendem com a segurança interna e a protecção dos órgãos de soberania e património (embaixadas e representações consulares, instalações militares, instalações das forças e serviços de segurança).

A regulamentação interdita também voos de RPAS em zonas de sinistro onde se encontrem a decorrer operações de protecção e socorro, salvo se o comandante das operações de socorro autorizar expressamente o voo nas condições estabelecidas no regulamento.

A realização de voos em áreas protegidas da rede nacional de áreas protegidas ou das Regiões Autónomas, nomeadamente parques nacionais ou parques ou reservas naturais, carece de autorização adicional das entidades responsáveis pela gestão de tais áreas, de acordo com a legislação especificamente aplicável.

Em termos de utilização de espaço aéreo e na perspectiva dos serviços de tráfego aéreo, a maior ou menor liberdade para usufruir do RPAS depende essencialmente de identificar, se o voo se realizará em espaço aéreo controlado ou não controlado.

Tendo em conta que, o espaço aéreo não controlado (Classe “G”) permite maior liberdade, pelo menos em termos verticais é, contudo, obrigatório cumprir com a altura máxima de 120 metros (400 pés). Esta limitação justifica-se pelo facto: de as aeronaves voarem a uma altura mínima de 150 m (500 pés), devendo o piloto remoto dar prioridade de passagem às aeronaves tripuladas e afastar -se das mesmas sempre que, por qualquer razão, as aeronaves tripuladas estejam excepcionalmente a voar a uma altura próxima da RPA.

Os pilotos de RPA não podem exercer funções quando se encontrem em qualquer situação de incapacidade da sua aptidão física ou mental, que possa afectar a segurança no exercício daquelas funções, nem quando se encontrem sob a influência de quaisquer substâncias psicoactivas ou medicamentos que possam afectar a sua capacidade de as exercer de forma segura e adequada.

O piloto remoto deve certificar -se previamente que tanto a RPA, como o restante sistema, se encontram em perfeitas condições para a realização do voo, além de que estas devem voar sempre com luzes de identificação ligadas, independentemente de se tratar de voos nocturnos ou diurnos.

Como regra geral, os RPAS, se não estiverem na proximidade de aeródromos e heliportos e se não estiverem em áreas proibidas, restritas ou reservadas, podem efectuar voos diurnos em operações à linha de vista (*Visual Line -of -Sight*, ,VLOS) operação segundo as regras de voo visual em que o piloto remoto ou o observador da aeronave pilotada remotamente mantém contacto visual directo, sem ajuda, com a referida aeronave, isto até 120 metros acima da superfície (400 pés), à excepção das aeronaves brinquedo, que não devem exceder 30 metros de altura (100 pés), devendo a operação ser executada mantendo uma distancia de forma a minimizar riscos para as pessoas, bens e outras aeronaves. A realização de voos nocturnos, de operações BVLOS, e de voos acima de 120 metros acima da superfície (400 pés) carece de autorização expressa da ANAC. Ficam igualmente proibidos de sobrevoar concentrações de pessoas ao ar livre, entendendo-se como tal mais que 12 pessoas, salvo se previamente autorizado pela ANAC.

Contudo a utilização de RPAS para efeitos de levantamentos aéreos, nomeadamente fotografia e filmagem aérea, bem como a sua divulgação, carece sempre de autorização prévia da AAN (imagens.aereas@aan.pt), em conformidade com o disposto na legislação especificamente aplicável, designadamente na Lei n.º 28/2013, de 12 de Abril, no Decreto-Lei n.º 42071, de 30 de Dezembro de 1958 e da Portaria n.º 17568, de 2 de Fevereiro de 1960, alterada pela Portaria n.º 358/2000, de 20 de Junho.

Este regulamento apenas visa garantir a segurança do espaço aéreo. As regras para captação de imagem e realização de vídeo são reguladas por outra legislação, designadamente pela Lei de Protecção de Dados Pessoais (Comissão Nacional de Protecção de Dados - <https://www.cnpd.pt/>) e pelas autorizações a requerer à Autoridade Aeronáutica Nacional / Força Aérea Portuguesa (<http://www.aan.pt/>).

A ANAC é a autoridade nacional em matéria de aviação civil, exercendo funções de regulação e supervisão do sector da aviação civil, a fiscalização compete à PSP, à GNR ou às autoridades marítimas, nos casos sob jurisdição militar compete às próprias entidades militares fazê-lo.

A violação de determinações, instruções ou ordens da ANAC constantes do regulamento, bem como todas aquelas que sejam inerentes ao cumprimento do mesmo, constitui contra-ordenação aeronáutica civil grave ou muito grave, nos termos do artigo 7.º do Decreto-Lei n.º 10/2004, de 9 de Janeiro, variando os valores das coimas entre os 250 euros para indivíduos singulares e os 250 mil euros para actividades empresariais.